

General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

"Made available under NASA sponsorship
in the interest of early and wide dis-
semination of Earth Resources Survey
Program information and without liability
for any use made thereof."

7.6-10453
CR-148562

Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos



RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 8/26/76
DCAF NO. 104207
PROCESSED BY
☒ NASA STI FACILITY
☐ ESA - SDS ☐ AIAA

(E76-10453) GENERAL STUDY OF THE REGION OF
LAKE TITICACA, BOLIVIA, USING A SATELLITE
MULTISPECTRAL SCANNING SYSTEM. PETROLOGIC
STUDY OF METAMORPHIC ROCKS IN THE ZONGO
VALLEY IN (Yacimientos Petroliferos Fiscales G3/43

N76-31611
HC \$5.50

Unclas
00453

Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos

**ORIGINAL CONTAINS
COLOR ILLUSTRATIONS**

Original photography may be purchased from
EROS Data Center
10th and Dakota Avenue
Sioux Falls, SD 57198



CONTENIDO

- ESTUDIO GENERAL DE LA REGION DEL LAGO TITICACA, EVALUANDO EN FORMA PRELIMINAR UN SISTEMA DE ANALISIS INTERACTIVO DE IMAGENES MULTIESPECTRALES'

Dr. William D. Carter

Carlos E. Brockmann . *tu* pág. 5

- ESTUDIO PETROLOGICO DE LAS ROCAS METAMORFICAS DE UN SECTOR DEL VALLE DE ZONGO.

Lic. Marcelo Arduz T.

pág. 33

- PROYECTO INSTALACION DE UNA BATERIA EN EL CAMPO LOS MONOS

Ing. Eduardo Ayala A.

pág. 59

- ESTUDIO GEOLOGICO DE LA REGION ULLA ULLA - CHARAZANI.

Ing. Heberto E. Perez G.

pág. 85

ESTUDIO GENERAL DE LA REGION DEL LAGO TITICACA EVALUANDO EN FORMA PRELIMINAR UN SISTEMA DE ANALISIS INTERACTIVO DE IMAGENES MULTIESPECTRALES

**Carlos E. Brockmann **
William D. Carter ***

RESUMEN

Los datos digitales contenidos en las cintas compatibles ERTS-1 y LANDSAT-2 para computadora, ofrecen al geocientífico una oportunidad muy grande para examinar o probar la máxima flexibilidad que ofrece este sistema del satélite, usando computadoras interactivas, tales como el "General Electric Image 100 System". Aproximadamente 9 horas de tiempo de operador y computadora fueron necesarias para analizar la imagen Lago Titicaca 1443-14073 obtenida en Octubre 9, 1973. El área total del lago junto a las tierras húmedas asociadas al mismo, fue calculada a esta dentro del 3% de aproximación con relación a medidas anteriores. El área fue subdividida por sus características de reflectancia, empleando el análisis de "agrupamiento" de las cuatro bandas, siendo comparadas posteriormente con los valores de densidad de la banda 4. Variaciones de reflectancia, pueden ser atribuidas a variaciones superficiales, profundidad y características del fondo del lago, turbidez y materia flotante. Vegetación de tierras húmedas, vegetación relacionada a afluentes de agua subterránea, pastos naturales y cultivos fueron identificados por el análisis de "agrupamiento". Arena suelta, dunas, calizas y varios otros tipos de rocas, fueron también identificadas. Los desmontes de la Mina Matilde y labores mineras más reducidas fueron tentativamente identificadas por el análisis de la rúbrica multiespectral. Los valores de reflectancia fueron representados en histogramas y sus mapas correspondientes fueron obtenidos como registro para cada uno de los temas principales, los cuales fueron almacenados en una cinta de trabajo para su utilización posterior en la generación de un nuevo producto como así también para ser utilizado en el "entrenamiento".

El "Image 100" es rápido, extremadamente flexible y muy útil al investigador para identificar rasgos que no podrían ser notados dentro de un análisis convencional.

El trabajo fue realizado sobre una escena que cubre 34.225 km², habiendo sido analizada en escala 1:600.000 y partes seleccionadas a 1:98.000 y 1:25.000 en un período de 9 horas a un costo de \$b. 5.000,00 por hora. Los costos pueden ser reducidos, cuando el usuario tiene áreas específicas de estudio con objetivos definidos a investigar y procedimientos previamente seleccionados.

* Programa EROS -Servicio Geológico de los Estados Unidos, Roston, Virginia.

** Programa ERTS-BOLIVIA - Servicio Geológico de Bolivia. La Paz

SUMMARY

ERTS-1 digital data in the form of computer compatible tapes provide the geoscientist with an unusual opportunity to test the maximum flexibility of the satellite system using interactive computers, such as the General Electric Image 100 System. Approximately 9 hours of computer and operator time were used to analyze the Lake Titicaca image, 1443-14073, acquired 9 October 1973. The total area of the lake and associated wetlands was calculated and found to be within 3 percent of previous measurements. The area was subdivided by reflectance characteristics employing cluster analysis of all 4 bands and later compared with density values of band 4. Reflectance variations may be attributed to surface roughness, water depth and bottom characteristics, turbidity, and floating matter. Wetland marsh vegetation, vegetation related to ground-water effluents, natural grasses, and farm crops were separated by cluster analysis. Sandstone, limestone, sand dunes, and several volcanic rock types were similarly separated and displayed by assigned colors and extended through the entire scene. Waste dumps of the Matilde Zinc Mine and smaller mine workings were tentatively identified by signature analysis.

Histograms of reflectance values and map printouts were automatically obtained as a record of each of the principal themes. These themes were also stored on a work tape for later display and photographic record as well as to serve in training.

The Image 100 System is rapid, extremely flexible and very useful to the investigator in identifying subtle features that may not be noticed by conventional image analysis. The entire scene, which covers 34,225 km², was analyzed at a scale of 1:600,000, and portions at 1:98,000 and 1:25,000, during a 9-hour period at a rental cost of \$250 per hour. Costs to the user can be reduced by restricting its uses to specific areas, objectives, and procedures, rather than undertaking a complete analysis of a total scene.

INTRODUCCION

Los datos del barredor multiespectral de los satélites ERTS-1 y LANDSAT-2, con registros sinópticos de las propiedades radiométricas (*) de los objetos y rasgos sobre la superficie de la tierra. Estos registros son recibidos en los satélites en forma de señales electrónicas y subsecuentemente transcritas a películas como imágenes analógicas o almacenadas en cintas compatibles para computadora (CCT) (*), para su procesamiento futuro ya sea en forma de video o como productos temáticos lineares, teniendo las características geométricas de un mapa.

Ambos tipos de datos han sido evaluados en este experimento, con relación a la geología estructural y recursos minerales de los Andes de Sud América.

El presente experimento es un esfuerzo cooperativo entre el Servicio Geológico de los Estados Unidos con instituciones similares de los países participantes, entre los que se encuentran Argentina, Bolivia, Chile y el Perú.

(*) Ver glosario

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de los análisis realizados con el "General Electric Image 100" (**), siendo este uno de los varios instrumentos similares, que actualmente se encuentran disponibles para su uso, siendo la intención de este trabajo experimental, evaluar cada sistema de análisis para el usuario y aplicarlo particularmente desde el punto de vista del geólogo.

Objetivos y Antecedentes de la Investigación

El objetivo de este experimento ha sido realizado para determinar como el "General Electric Imagen 100 System", podría prestar ayuda al geólogo al extender su conocimiento de un área limitada al conocimiento total de una escena ERTS que abarca 34.225 km².

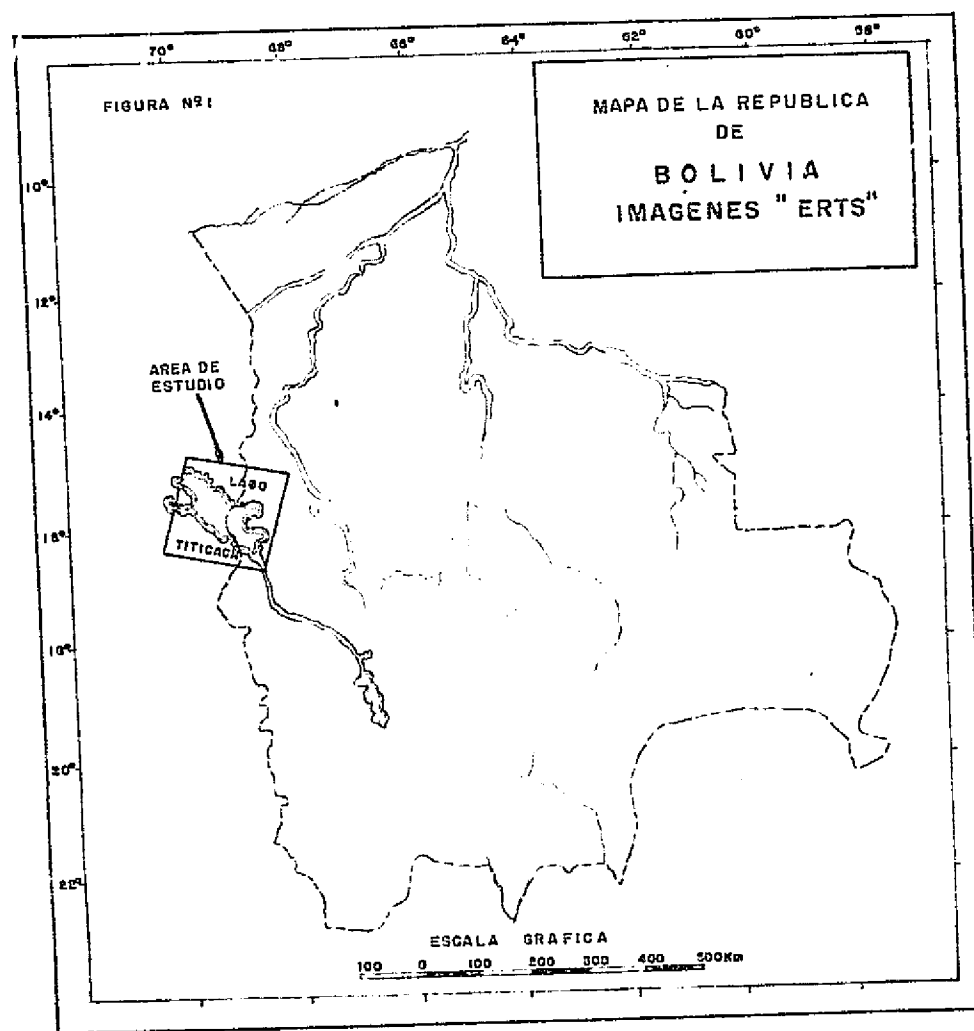
En el presente caso, se decidió no solo estudiar la distribución de determinados tipos de roca, sino también aplicar al conocimiento de la superficie especular del Lago Titicaca, la distribución de las tierras húmedas y de la vegetación agrícola. Para estos efectos fue seleccionada la imagen Lago Titicaca (Fig. N° 1), identificada con el número 1443-14073 obtenida el 9 de Octubre de 1973, la cual cubre el lago en forma completa, parte occidental de la Cordillera Real por el sector N.E.; una pequeña zona del Altiplano boliviano por el Sur y la Cordillera Occidental por el Oeste.

El Lago Titicaca es el cuerpo de agua más grande de Sud América siendo el lago navegable más alto del mundo, tiene un área de drenaje de cuenca que alcanza a 56.300 km², la altura de la superficie especular ha sido medida dentro del rango de 3.802 a 3.808 m.s.n.m. (Bazoberry 1969), siendo el promedio desde 1918 - 1966 de 3.808 m.s.n.m. Sin embargo en la década de los años 1933-1943, su nivel bajó 5.20 m. quedando la boca del río Desaguadero sobre el nivel del lago, este hecho también fue observado por Pentland en 1835 (Ahlfeld 1960); por cada metro de cambio vertical, el área de superficie cambia aproximadamente 250 km² (Bazoberry 1969), los registros de precipitación media anual (1910-1943), indican un rango de 1.032 a 1.700 mm. por año, siendo el promedio de los índices mayores originados en la Cordillera Real calculado en 1.363.1 mm./año (379 m³/s).

Con referencia a la superficie especular, se tienen datos que varían desde los 8.700 - 6.700 km², posiblemente esta variación puede estar relacionada por una parte al ciclo hidrológico existente y por otra a la época del año en que se efectuaron las mediciones o ambas combinadas. Realizadas las mediciones superficiales del lago sobre la imagen 1191 - 14093 de Enero 1º, 1973 alcanzan a 8.100 km² con relación a 8.171 km² calculada por Bazoberry (1969). La temperatura promedio anual es de 10°C

La geología del área es altamente compleja, pudiendo resumirse como una amplia cuenca sinclinal con una dirección predominante N 50W. donde las rocas se encuentran

(**) La designación de instrumentos Científicos comerciales utilizados en este trabajo han sido usados únicamente con los propósitos de identificación.



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. Nº 1 Mapa de Ubicación del área estudiada.

fuertemente plegadas y falladas, cuyas edades oscilan desde el Devónico al Terciario. Probablemente la formación del lago se efectuó al final del Terciario, como consecuencia del levantamiento diferencial de las cordilleras Oriental y Occidental con el consecuente hundimiento del área interandina. (Ahlfeld 1969). Aparentemente la cuenca primitiva del lago no tuvo desagüe, suposición que estaría confirmada por el análisis del drenaje efectuado de los tributarios del río Desaguadero, que indican claramente que desde las inmediaciones de la población Ulloma, todos los ríos vertían sus aguas hacia el Norte, siendo aún posible observar las lenguetas típicas de captura en algunos de ellos. Este hecho ha sido observado en la imagen 1010-14033 obtenida el 2 de Agosto de 1972.

Las rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario yacen al NW y SE del lago respectivamente. Los afloramientos volcánicos que conforman la cordillera Occidental están localizadas en la Cordillera Occidental, existiendo algunos remanentes de rocas sedimentarias del Jurásico y Cretácico.

Afloramientos de rocas intrusivas ácidas de edad Mesozoica y Cenozoica, afloran como masas irregulares al N E. del lago, entre los cuales se destaca el Batolito de Sorata.

La desembocadura de los ríos en el lago forman valles amplios, especialmente en el sector del SE, donde se han establecido cooperativas agrícolas que explotan la tierra en forma intensiva, con producción de papa, cebada, avena y algunos cultivos aislados de quinua y haba.

La totora, vegetación propia de tierras húmedas del lago, son usadas por los lugareños para fabricar balsas con formas muy distintivas.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El "General Electric Imagen 100" consiste de siete unidades básicas a saber:

- Dos unidades de conducción de cintas, que permiten la utilización de las cintas compatibles en la computadora, (CCT), las cuales son leídas y mostradas por una pantalla de televisión.
- Una grabadora DEC de disco, que permite grabar y almacenar los datos temáticos derivados obtenidos durante el proceso analítico.
- Una unidad central de memoria.
- Una unidad de programa de circuitos integrados
- Una unidad demostrativa de video

Todas estas unidades están entrelazadas a una máquina impresora de cinta de programa, la que tiene un CRT(*), sobre el cual los programas y los hitogramas, son mostrados y

(*) Ver glosario.

proveen la interacción con la escena de una imagen.

El equipo auxiliar incluye una mesa de luz, rotatoria con una cámara de televisión dispuesta en forma vertical para superponer las películas de las imágenes o mapas en la unidad de video, facilitando de esta forma la comparación con datos temporales, con mapas publicados y otros datos. Un impresor Toktronix provee impresiones en papel de procesamiento del programa o muestra histogramas en la impresora CRT(*) para la documentación de los pasos analíticos efectuados. El impresor de línea provee también en una copia de papel los temas que fueron extraídos.

Formato de Datos y Procedimiento de Análisis

Existen cuatro cintas compatibles para computadora de cada imagen ERTS-1 o LANDSAT-2 (Fig. N° 2), pudiendo ser cada cinta de 9 canales y 800 bpi (*) 6 cintas de alta densidad de 1600 bpi (*), cada cinta contiene una banda espectral cuyos rangos dentro del espectro electromagnético van de .5-.6 μ m, .6-.7 μ m, .7-.8 μ m y .8-1.1 μ m, cubriendo cada una de ellas una franja de 46 km. de ancho por 185 km. de largo en el sentido Norte-Sur.

La cinta 1 (CCT-1), es paralela al borde oeste de la escena, estando las cintas magnéticas 2,3 y 4 (CCT-2, CCT-3 y CCT-4), localizados al oriente de la primera, avanzando en forma progresiva en esta dirección (Fig. N° 2), las cuales pueden ser mostradas individualmente o almacenadas en una memoria y combinadas sistemáticamente con cada elemento de resolución(*).

Para ser vista una escena completa en la pantalla de video, la cual es un tubo catódico corriente de 500 líneas, en la demostración de la pantalla se usan solamente cada 30 elementos de resolución, de los 7.500.000 elementos resolución que aproximadamente forman una escena completa, la que puede ser observada por el científico y el operador, de esta manera planificar el experimento, seleccionando áreas más pequeñas o subescenas, que pueden ser estudiadas con mayor detalle (Fig. N° 2).

Esta operación preliminar puede tomar de 30 a 60 minutos, dependiendo del grado de complejidad de la escena y el número de subescenas que son deseadas.

Las subescenas generalmente están limitadas al ancho de una cinta, pudiendo ser combinadas con cintas adyacentes para cubrir áreas de donde se desean hacer sobrepuestas específicas, estas áreas de prueba son aproximadamente de 30 x 30 km., para cuya selección se utiliza las líneas de barrida en el sentido N-S y los números de columna en la dirección W-E. La escala de exhibición es aproximadamente 1:100.000, pero dentro de la subescena, de donde se han seleccionado zonas de prueba específicas, se pueden alcanzar escalas de .50.000 ó 1:28.000. Asimismo dentro de esta demarcación,

(*) Ver glosario.

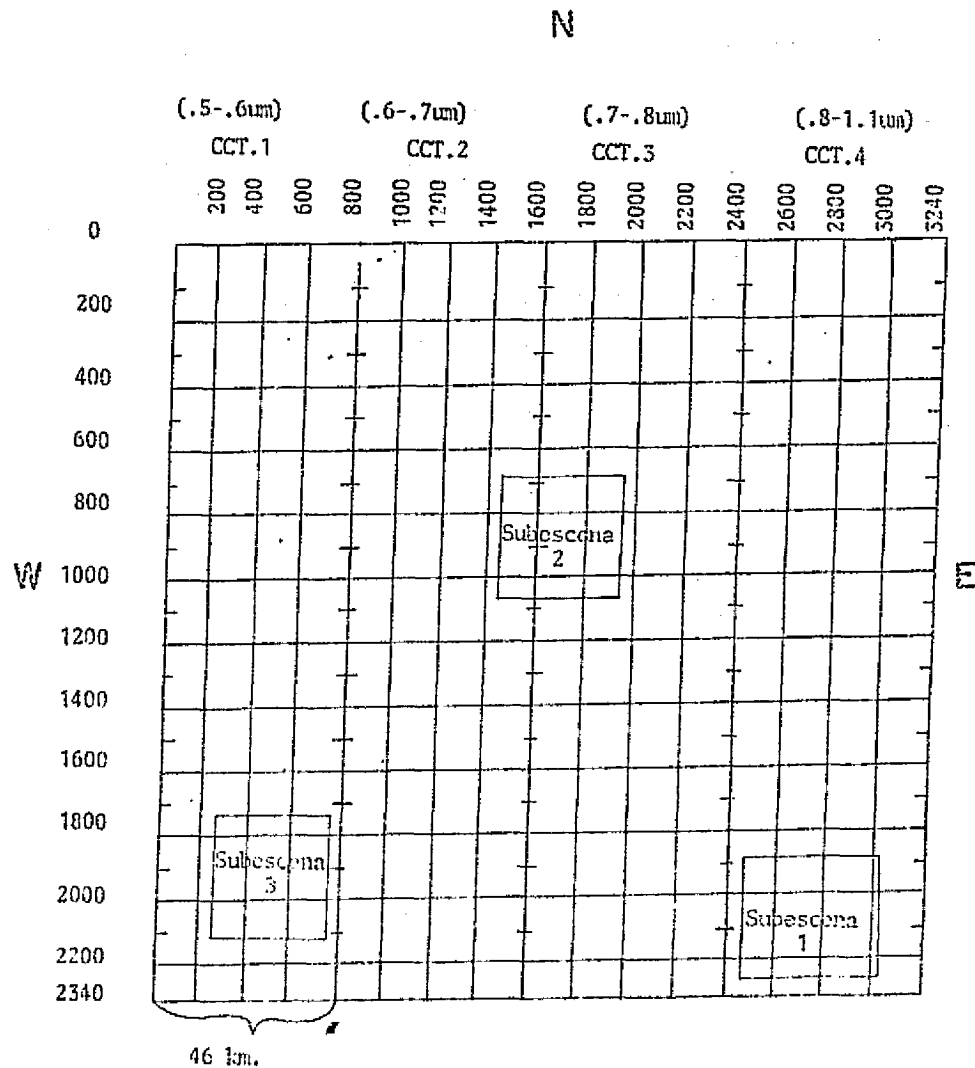
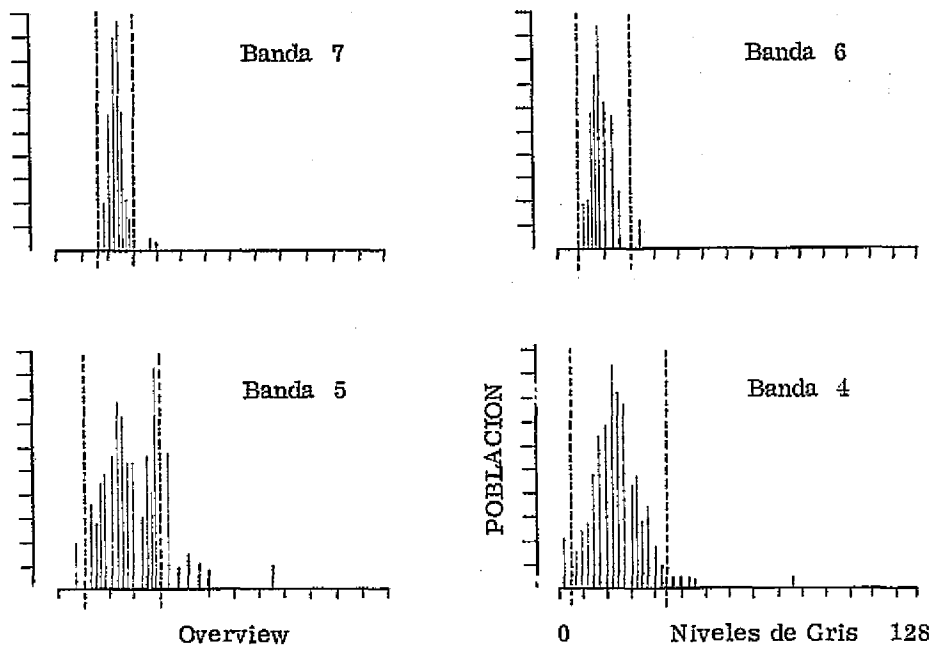


Fig. N° 2 Diagrama del formato de las cintas compatibles para computadora, mostrando la ubicación de las subescenas por elementos de resolución.



	LB	UB	DEL	PEAK	MEAN	VAR *
1	14	24	11	266.	19.0	3.8 *
2	8	24	17	225.	15.8	9.5 *
3	9	33	25	111.	21.8	44.4 *
4	5	35	31	171.	19.3	41.9 *
TRAINING AREA =				1404. PIXELS		
ALAPMED AREA =				16412. PIXELS (6.3x) *		
TYPE CHANNEL				OR E (X) IT		

Fig. N° 2. Impreso de Tektorix mostrado en el CRT de los valores de población de reflectancia de las tierras húmedas. Los números indicados abajo a la izquierda 1,2,3,4, representan las bandas 7,6,5,4 respectivamente.

LB indica "límite bajo"

UB indica "límite alto"

DEL indica "total de niveles de gris entre ambos límites"

PEAK muestra la máxima población de elemento de resolución en un solo nivel de gris.

Nótese la influencia de absorción por el agua, en nivel del gris angosto mostrado de las bandas 6 y 7 abajo al final del histograma. Vegetación en la banda 5 es bimodal, mientras que la banda 4 es gaussiana.

un área de prueba de pocos elementos de resolución puede ser seleccionada y sus valores de radianza (*) pueden ser medidas y registradas en un histograma en forma independiente para cada banda del sistema multispectral.

Estos son mostrados y separados en el CRT durante el proceso de análisis de clasificación y pueden ser impresos en papel por el impresor Tektronix (Fig. N° 3).

Los histogramas muestran en la absisa 128 tonos o niveles del gris para las bandas 4, 5 y 6, siendo solamente 64 para la banda 7. La ordenada registra el número de "población" de los elementos de resolución dentro de un determinado nivel de gris o tono que tenga la misma radianza. Si la curva es gaussiana, existirá un pico angosto siendo sus lados iguales, lo que significa que se obtuvo una buena rúbrica espectral. Si aparecen dos picos, es bimodal y se asume que existe la mezcla de rúbricas de dos o más objetos. Aplicando color selectivo para el tema, este puede ser separado y de esta manera el operador puede mostrar la rúbrica en la pantalla de televisión. El color del tema puede ser prendido y apagado para que actúe como una alarma para llamar la atención del científico en áreas específicas de interés.

RESULTADO DEL ANALISIS

La exposición completa de la escena del Lago Titicaca permitió al operador del "General Electric Image 100 System" y al geólogo, seleccionar y definir las sub áreas a ser estudiadas en detalle, habiéndose seleccionado la subescena 1 que corresponde a la subárea que cubre el valle de Iwanacu localizada al SE, del lago, otra en el sector central - Norte del lago donde está situado el distrito minero de Mina Matilde y finalmente el sector al sur oeste del mismo, donde se pudo localizar una roca altamente reflectiva (*) que puede corresponder a una roca calcárea.

A fin de iniciar el estudio se decidió en primera instancia separar el lago Titicaca de otros cuerpos de agua que se encuentran dentro de la misma escena, habiendo sido calculada el área cubierta por agua que alcanza a 6.763 km² (Fig. N° 4), las tierras húmedas adyacentes al lago alcanzan una superficie de 1.152 km², dato comparado con la medición planimétrica sobre la imagen 1191 - 14093 de 8.100 km², se tiene una diferencia aproximada al 3%, que puede ser atribuida por una parte a los métodos usados en la medición y por otra que ambas medidas fueron efectuadas sobre dos escenas diferentes obtenidas en diferentes épocas del año.

Todas las bandas fueron usadas para definir las rúbricas de reflectancia (*) en diferentes partes del lago, separando los tonos que pertenecen a zonas profundas en la parte central del lago, los tonos más anaranjados (Fig. N° 5), ha permitido identificar zonas relativas de menor profundidad, tierras húmedas y sedimentos depositados en el lago. Para este efecto se realizó un análisis de densidad al nivel 8 de la banda 4, (Fig. N° 6), para compararlo con la etapa previa, habiéndose encontrado similitudes que indicaban que esta banda fue la mejor contribuyente en términos de valores de radianza por "población" de elementos de resolución al análisis de la rúbrica (Fig. N° 4).

(*) Ver glosario.

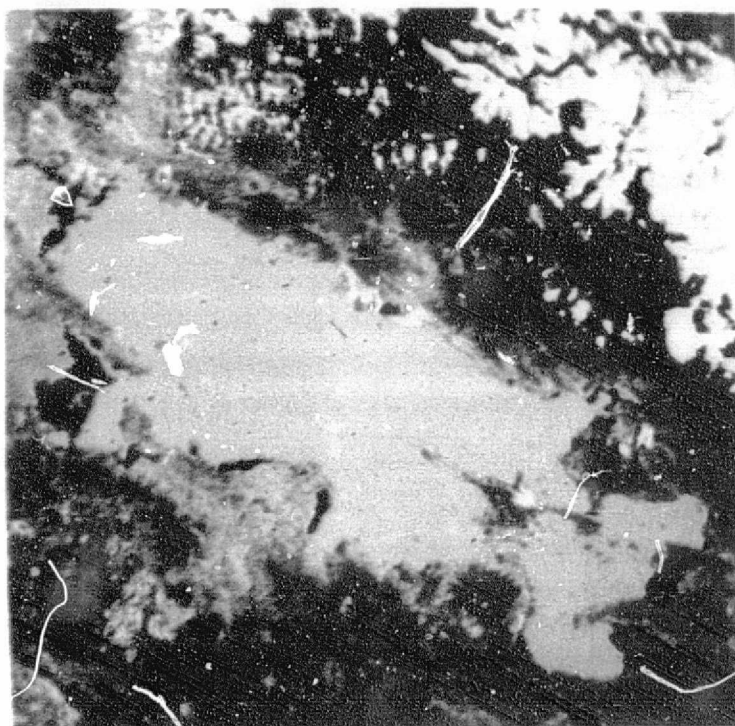
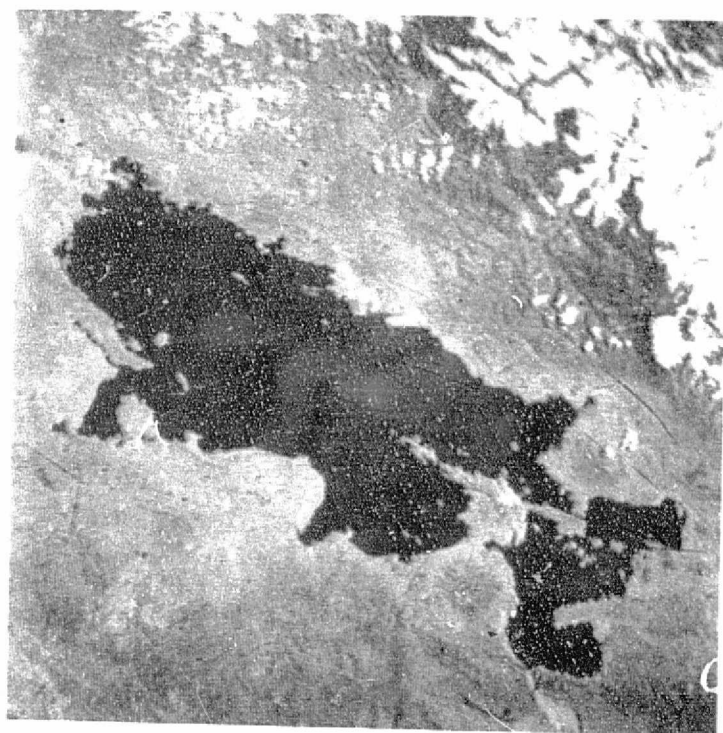


Fig. Nº 4 Area anaranjada corresponde a zonas cubiertas por agua, estando las tierras húmedas, adyacentes al lago, con color negro.



REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Fig. Nº 5 Los tonos oscuros indican zonas profundas del lago. Los tonos anaranjados muestran zonas de menor profundidad, tierras húmedas y sedimentos depositados en el lago.

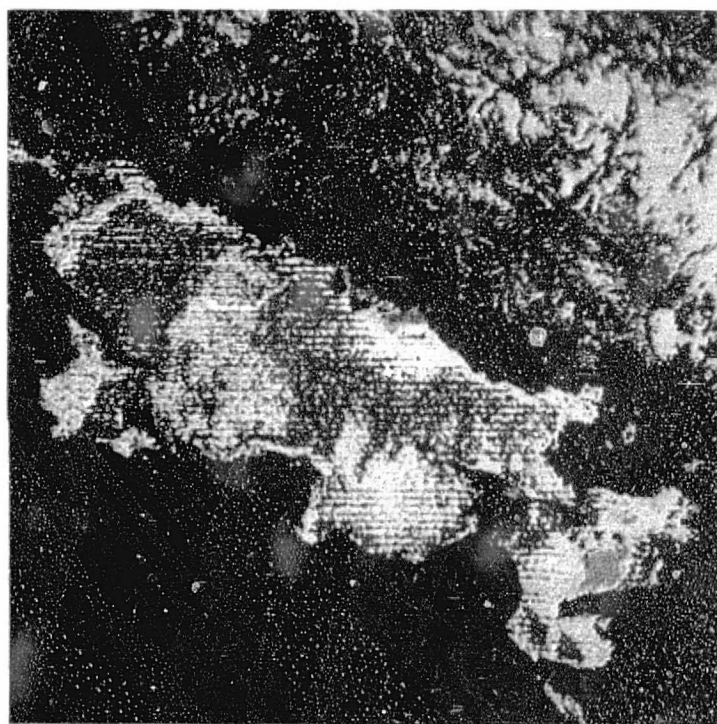


Fig. N° 6 Densidad total al nivel 8 de la banda 4, exagerando las variaciones tonales, la superficie especular del lago, las cuales pueden estar relacionadas a oleage, corrientes de viento, carga de sedimentos de los ríos tributarios y zonas menos profundas.

Subescenas Seleccionadas

Sub Area Tiwanacu

En el área de Tiwanacu, las tierras húmedas (Fig. N° 7) fueron separadas de los sedimentos que en suspensión ingresan al lago (Fig. N° 8), la vegetación relacionada a afluentes formados por agua subterránea y humedad pudo ser separada por sus tonos rosa pálido de otra vegetación roja y áreas secas (Fig. N°9).

En el área de prueba, en una región herbácea localizada, la base del abanico aluvial es mostrado por la asignación del blanco a los elementos de resolución, otros que tenían características de reflectancia similar fueron "alarmados". Aquellos localizados a lo largo del flanco norte de la península de Taraco se encuentran relacionados a vertientes de agua conocidas (Fig. N° 10).

Los campos de gramíneas (Fig. 11), en celeste, localizados por observaciones de campo como rastros en Julio 1974, fueron exitosamente separados de otra vegetación como así también de las tierras en descanso para el cultivo de la papa.

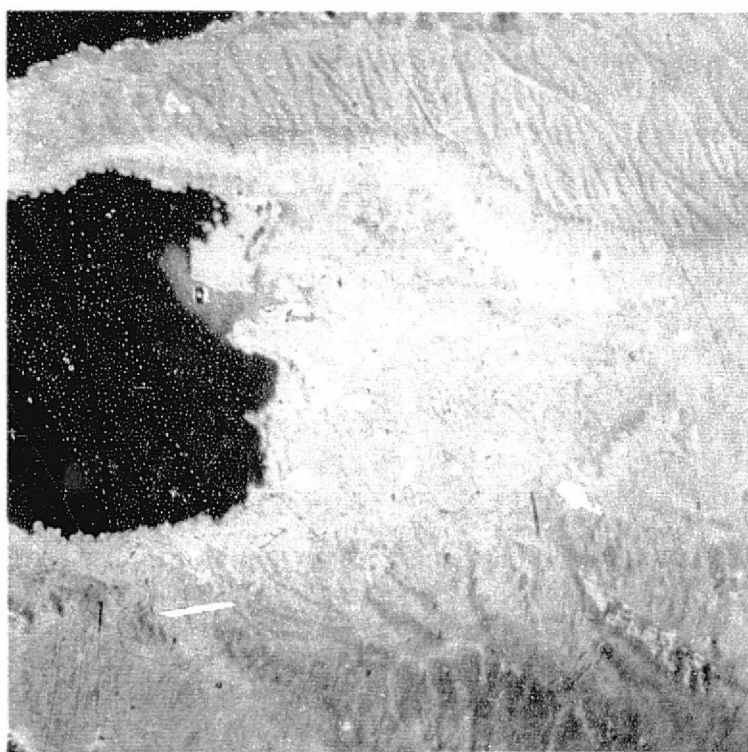
Talvez lo más significativo para el geólogo, fue el análisis del agrupamiento y el desarrollo de la "Rúbrica" para los afloramientos de las areniscas de la formación Totorá (*), en el cual se encuentran diseminados depósitos de cobre sedimentario al sur del área estudiada.

En el área de prueba elegida para este análisis consistió en la investigación de 36 unidades de resolución esparcidos (Fig. N°12), mostrando los histogramas valores pobres de reflectancia de 35, 50 y 55 para las bandas 4,5 y 6 respectivamente dentro de un rango total de 128 niveles de gris (Fig. N°13). La banda 7 tuvo un valor de reflectancia de 56 dentro del rango total de 64. La varianza extremadamente baja de valores de 0.0 - 1.2, indica una señal relativamente "pura", por cuyo motivo el área de prueba tuvo que ser extendida a toda la escena (Fig. N° 14 slide nuevo), dando por resultado la presencia de una serie de porciones dispersas que confirman el modelo de afloramiento sospechado, tal como se interpretó en forma visual (Fig. N° 15).

En Bolivia las areniscas de la Formación Totorá están consideradas como terciaria en base a la posición estratigráfica, mientras que en Perú, estas mismas rocas que tienen reflectancia similar y que parecerían ser una prolongación directa del afloramiento de Bolivia, se les asignó una edad cretácica.

Estos resultados preliminares sugieren que una revisión del mapa geológico de Sud América, puede ser factible de realizar a través del uso apropiado de los datos ERTS y LANDSAT.

(*) Ver glosario.



REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Fig. Nº 7

Valle de Tiwanacu localizado al SW del Lago Titicaca. La península de Taraco está localizada en la parte superior. La vegetación de tierras húmedas está en color anaranjado. Nótese vegetación similar en la parte inferior derecha. Esto sugiere que este valle pudo ser una antigua desembocadura o una bahía cuando el nivel del lago era superior.

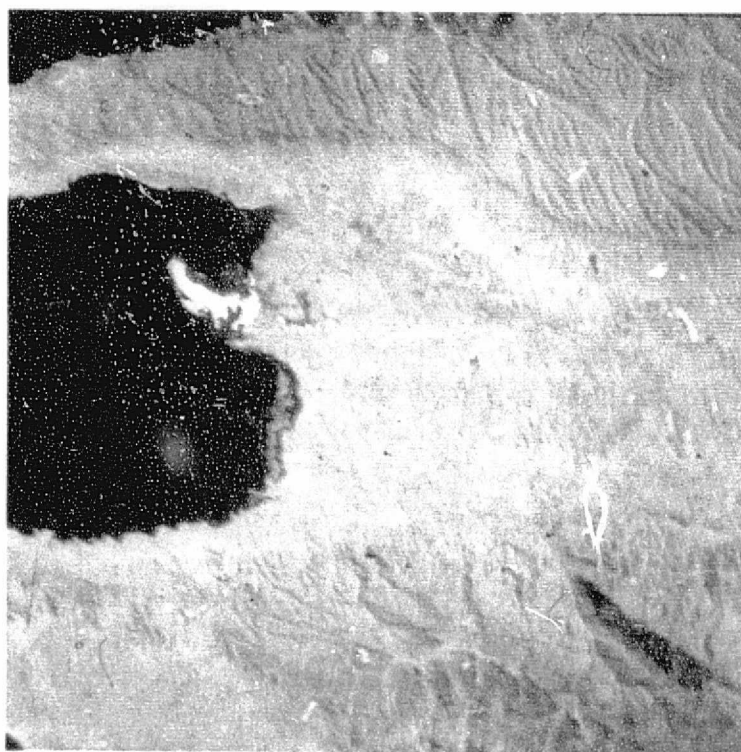


Fig. Nº 8 Sedimentos en suspensión en la desembocadura del río Tiwanacu al lago, esta indicado con el color blanco.

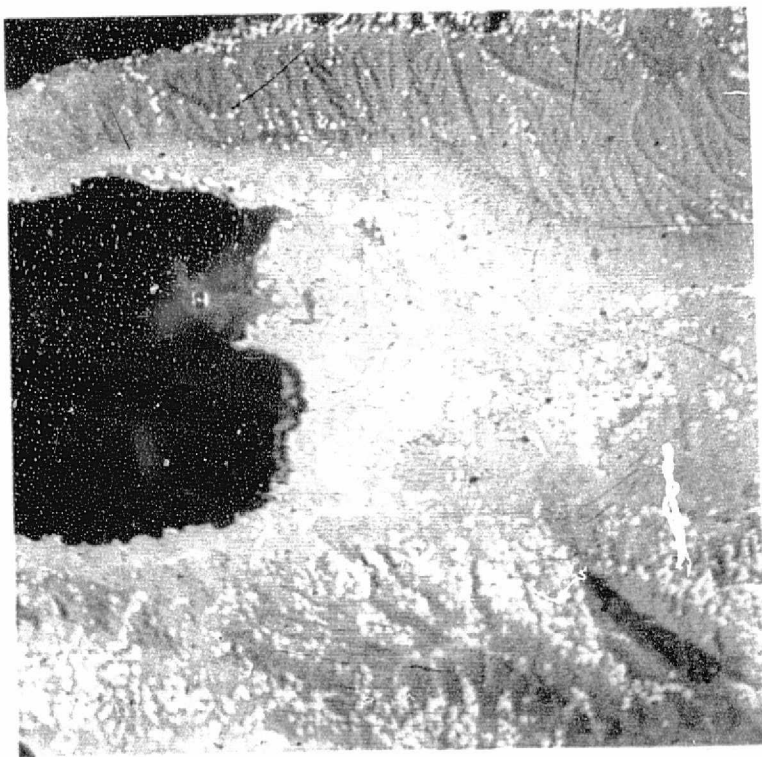


Fig. N° 9 Vegetación relacionada a afluentes formados por agua subterránea en color rojo.

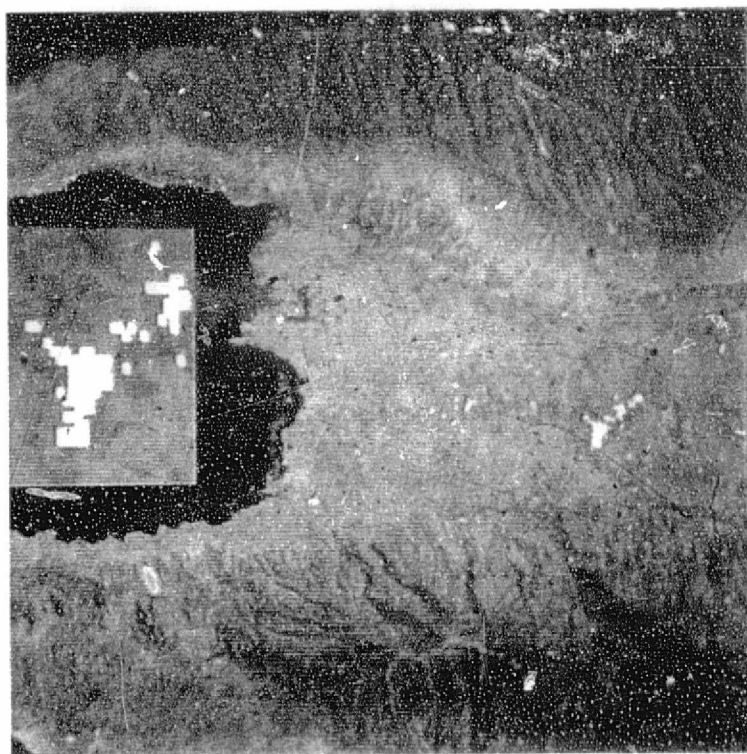
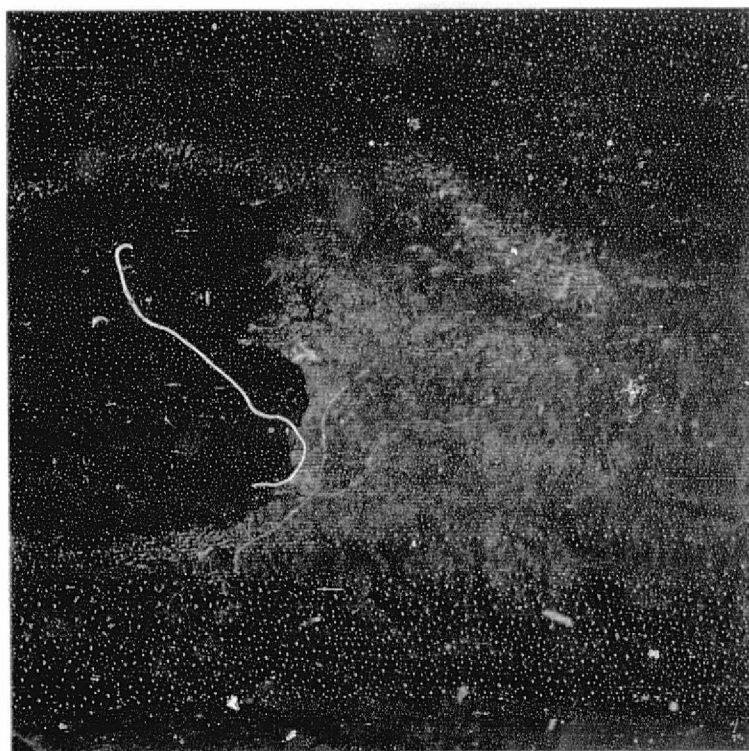


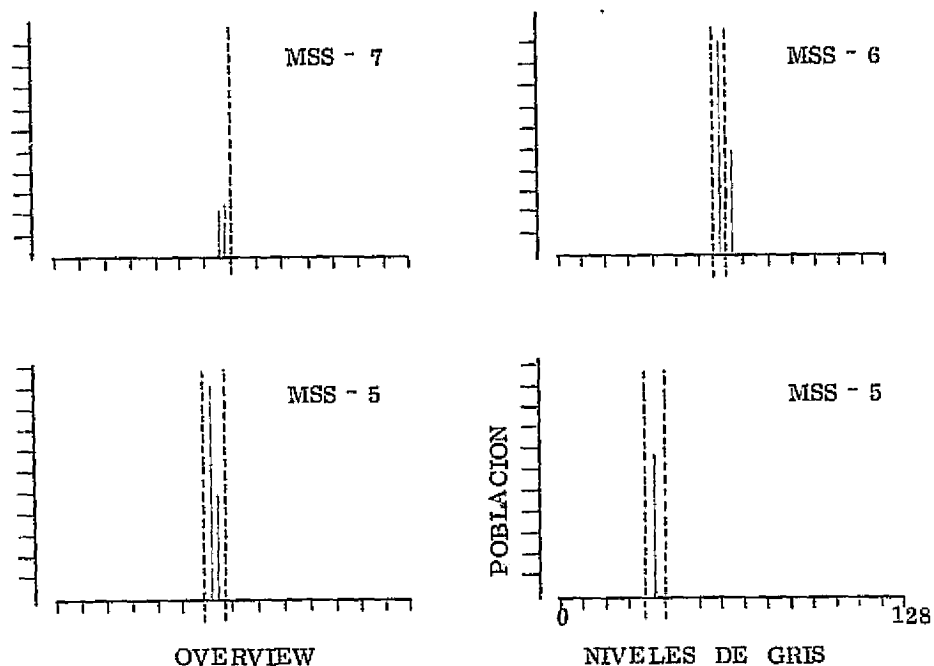
Fig. Nº 10 · Nótese la correspondencia de la vegetación roja de la Fig. 9, se encuentra en relación directa con la yacencia de agua subterránea que está representado en color blanco.

En la parte izquierda se encuentra una ampliación de la zona de prueba.



REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Fig. Nº 11 Probable demarcación de los cultivos de gramíneas en color celeste.



OVERVIEW						
*	LB	UB	DEL	PEAK	MEAN	VAR ±
1	56	56	1	24.	56.0	0.0 +
2	53	56	4	12.	55.0	1.2 +
3	48	54	7	12.	50.0	0.0 +
4	30	35	6	18.	35.0	0.0 +
TRAINING AREA =				36.	PIXELS	
ALARMED AREA =				201.	PIXELS (0.1X)	+
TYPE CHANNEL				OR E (X) IT	FORMACION TOTORA	

Fig. Nº 12 Demostración de los histogramas obtenidos en el CRT, mostrando los valores de reflectancia medidos sobre la Formación Totora.

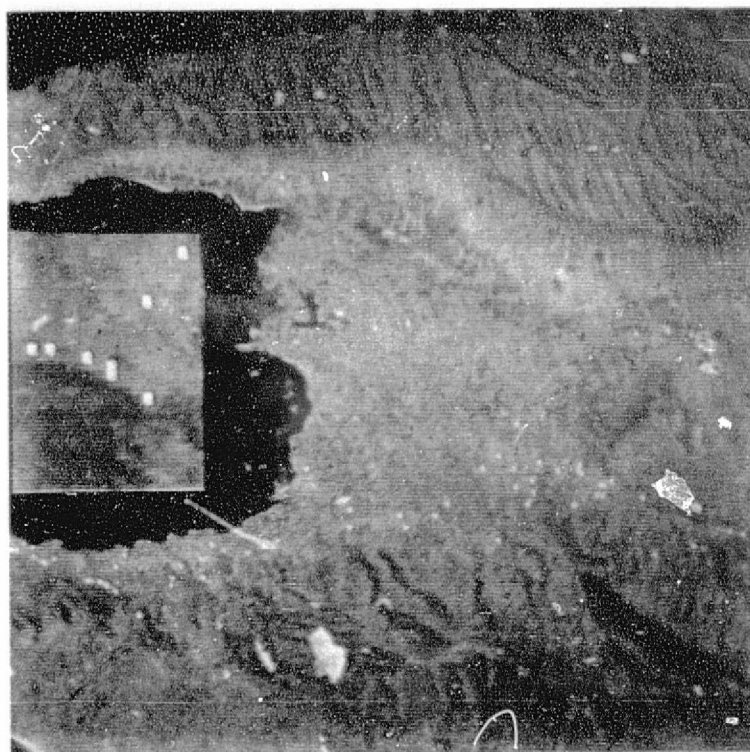


Fig. N° 13 Distribución aislada de los elementos de resolución correspondiente a la formación Totorá indicados en color amarillo.

Se hace notar que no es intención de este trabajo determinar cual edad es correcta de la formación Totorá, sino simplemente señalar que afloramientos que tienen características de reflectancia similar, pueden corresponder a la misma formación, por cuyo motivo se podrían efectuar las revisiones estratigráficas correspondientes, utilizando este sistema.

Subárea Mina Matilde

En el área de prueba de Mina Matilde, localizada al norte del sector medio del lago, se efectuó la investigación en zonas donde presumiblemente existen indicios de tierras o suelo trabajado, que podrían estar relacionados a desmontes de un yacimiento minero. Para este objeto se seleccionó un área compuesta de 36 elementos de resolución (Fig. Nº 16), habiéndose localizado de esta manera el yacimiento minero de Mina Matilde.

Subárea SW del Lago

Finalmente en la tercera área de prueba, localizada en el sector SW del lago, se ubicó un afloramiento rocoso que tiene alta reflectancia, muy semejante a los valores que presentan afloramientos aislados de caliza de agua fresca que se encuentran al norte de la península de Taraco.

La Fig. Nº 17, muestra el área de afloramiento, que aparentemente sería similar a las calizas explotadas por la fábrica de cemento peruana, localizada al W de la escena del lago Titicaca (Pedro Lavi, comunicación personal).

CONCLUSIONES

El "General Electric Image 100 System" es un instrumento muy útil para realizar investigaciones geológicas y otras relacionadas a los recursos naturales con datos proporcionados por los satélites ERTS-1 y LANDSAT-2.

El total de tiempo empleado fue aproximadamente 9 horas el cual puede ser reducido a medida que el operador científico obtenga mayor experiencia en la aplicación del sistema.

El instrumento puede ser usado para realizar investigaciones en el campo de reconocimiento de rocas, previo entrenamiento y planeamiento de la investigación a realizarse.

Parece ofrecer resultados promisorios en la delimitación de zonas alteradas relacionadas a la ocurrencia de depósitos minerales, como así también en la subdivisión de los grandes salares (lagos de playa), en la distribución de humedad y quizá determinar su contenido mineralógico por métodos de fraccionamiento y alargamiento de los contrastes.



REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Fig. N° 14 Distribución regional de la formación Totorá sobre toda la escena.

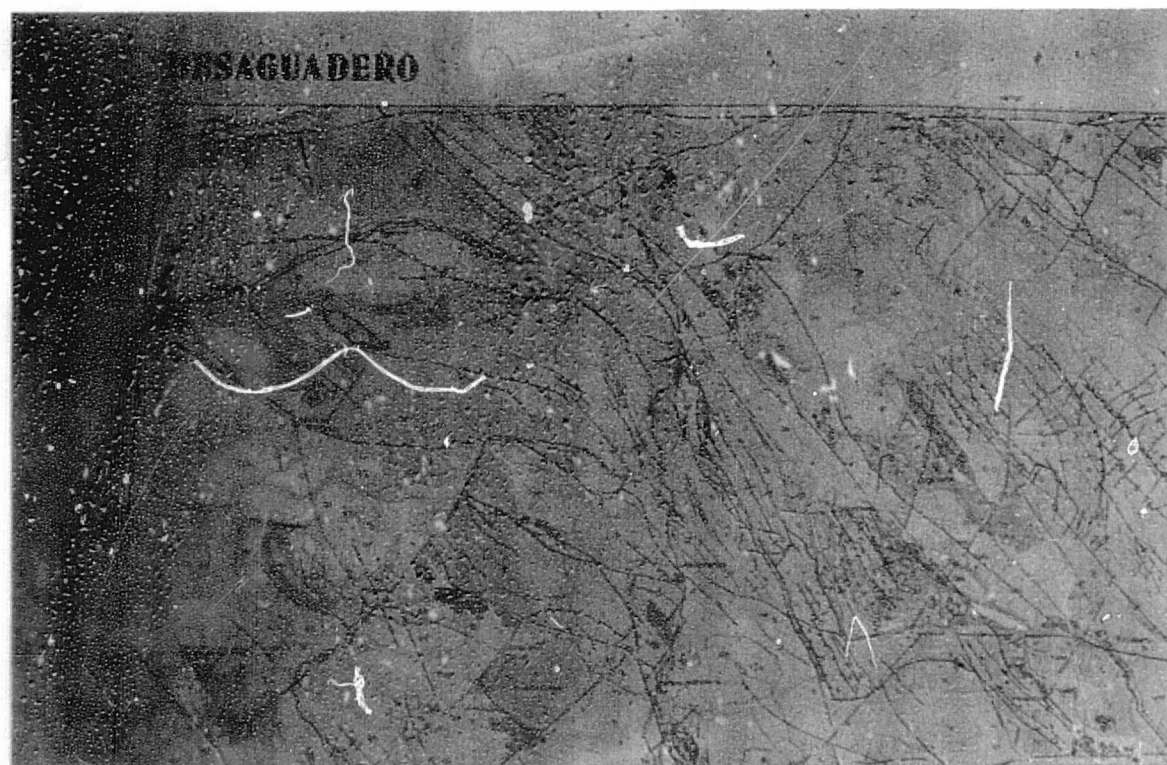


Fig. N° 15 Mapa geológico obtenido de la imagen 1100-14041 complementado con información existente.

Nótese que los afloramientos terciarios en el borde medio izquierdo, guardan relación con la fotografía N° 14.

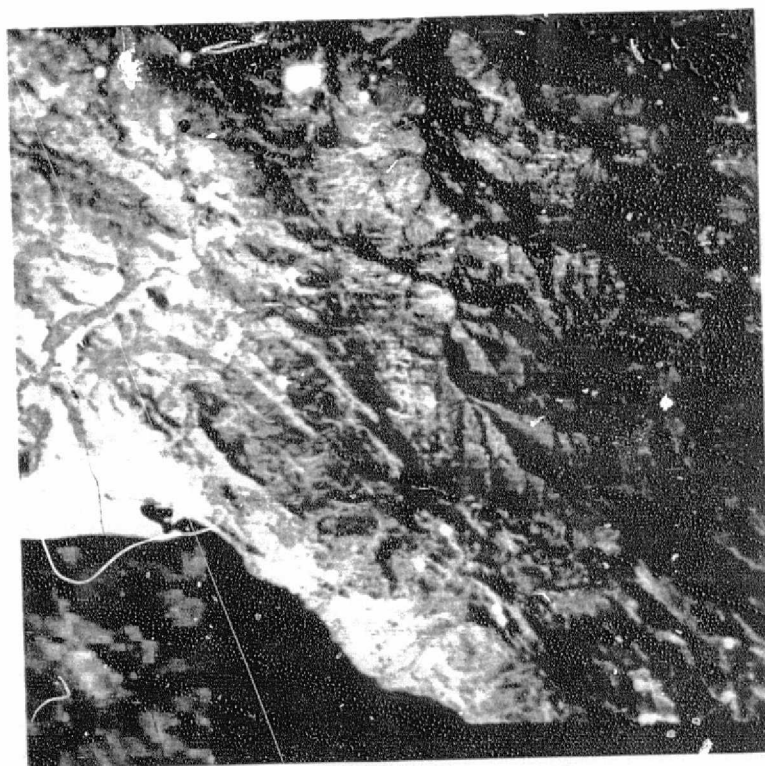


Fig. N° 16 Localización de la Mina Matilde en base a la identificación de desmontes mineros.

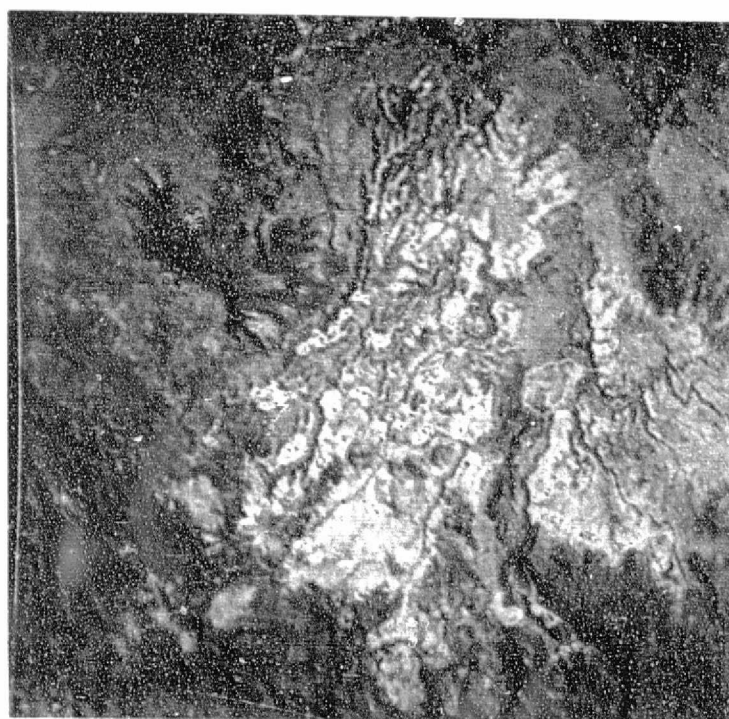


Fig. N° 17 Area de calizas (gris claro), localizada al SW del lago Titicaca. Los puntos anaranjados dispersos indican vegetación

BIBLIOGRAFIA

- Ahlfeld F., Branisa L. 1960 - Geología de Bolivia. Instituto Boliviano del Petróleo.
- Anónimo 1974 - Sistema interactivo de análisis de imágenes multispectrales (General Electric Image 100 System).

Compañía General Electric, División del Espacio, Daytona Beach, Florida Documento Nº 717001 G. 63 pgs.
- Basoberry A. A. 1969 - Anteproyectos y alternativas sobre la utilización de las aguas del Lago Titicaca, río Desaguadero y Lago Poopó con fines de producción de energía e irrigación; informe de archivo abierto al Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, La Paz.
- Data Users Handbook 1972 - General Electric Document Nº 71504249 Prepared for NASA. Under Contract Nº NAS 5-11320.
- Mapa Geológico de Sud América 1964 - Compilado por la Comisión para el Mapa Geológico del Mundo, publicado por el Consejo Nacional de Pesquisas (Brasil).
- Meyer, H. Murillo J. H. 1961 - Sobre la Geología de las Provincias Aroma, Pacajes y Carangas: Depto. Nal. de Geología, La Paz - Bolivia Boletín Nº1.
- Terminología en Percepción Remota 1973 - Comisión del Espacio Exterior México Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Comité AD-Hoc de Sensores Remotos.
- Wijs, H. J. 1944 - Los Proyectos Hidroeléctricos del Titicaca. Informe interno abierto. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones La Paz.

GLOSARIO

bpi	= Bites por inch.
CCT	= Computer Compatible Tapes
CRT	= Catodic Ray Tube
Elemento de Resolución (Pixel)	= Unidad más pequeña que genera una imagen, con .45 Ha de superficie.
Formación Totora	= Conjunto de rocas sedimentarias compuestas por areniscas, areniscas arcillosas, color marrón rojizo.
Radianza (Radiance)	= Nombre de flujo radiante en unidades de potencia.
Radiométrica	= Concerniente a la transmisión combinada a datos electrónicos y ópticos.
Reflectancia	= Propiedad de un cuerpo reflector que se mide por la proporción del flujo radiante reflejado por su superficie y la incidente sobre la máxima superficie.

ESTUDIO PETROLOGICO DE LAS ROCAS METAMORFICAS DE UN SECTOR DEL VALLE DE ZONGO*

Marcelo Arduz T.**

RESUMEN

Con el fin de determinar las variaciones petrográficas, así como para conocer la historia metamórfica de las rocas de la región, se ha realizado un muestreo a lo largo de perfiles transversales a los contactos entre las rocas consideradas de edad ordovícica y los cuerpos intrusivos Huayna Potosí y Cuticucho. El primero de los perfiles se encuentra en las proximidades del yacimiento de Mina Milluni, el segundo, entre las localidades de Sainani y Chururaqui.

En base a las muestras recolectadas se han llevado a cabo estudios de microscopía y difracción de rayos x tendientes a delimitar: zonas litológicamente diferentes, la composición mineralógica, y las facies alcanzadas durante las transformaciones metamórficas y finalmente su petrología.

SUMMARY

In order to establish the petrographic variations, as well as for determining the metamorphic history of the region's rocks, a sampling was made through the profiles, transversal to the contacts between rocks considered of Ordovician age and the intrusive bodies Huayna Potosí and Cuticucho.

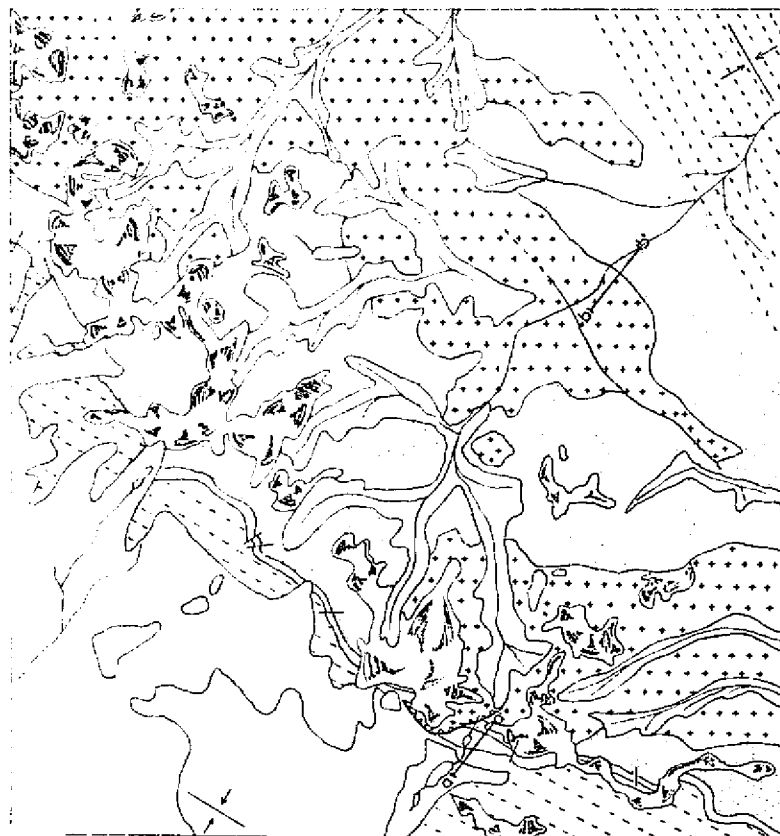
The first of said profiles is located near the Milluni Mine Ore Deposit, and the second one between the villages of Sainani and Chururaqui.

Microscopic and X-Ray diffraction studies on the collected samples were performed to define zones which are lithological different, to establish the mineral composition of samples, to identify the facies reached during the metamorphic transformations and finally to define its petrology.

*Trabajo presentado en la IV Convención Nacional de Geología Santa Cruz, Bolivia.

**GEOBOL- Laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata
- Rep. Argentina.

HOJA MILLUN



Lamina I

- cuaternario
- silúrico
- ordoviciano
- rocas graníticas
- sinclinal
- anticlinal
- esquistosidad
- falla
- línea de perfil

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto estudiar las características petrológicas y mineralógicas de las rocas metamórficas de un sector del Valle de Zongo. Dichas rocas se encuentran asociadas a cuerpos intrusivos de composición granítica, que son los llamados Huayna Potosí y Cuticucho.

Cabe hacer notar que este estudio es parte de uno posterior que se ampliará especialmente al sector NE de la zona, con la finalidad de llevar a cabo una determinación precisa de la zonación metamórfica en las adyacencias del intrusivo Cuticucho.

Con el fin de determinar las variaciones petrográficas, así como para conocer la historia metamórfica de la región, se ha realizado un muestreo a lo largo de perfiles transversales a los contactos entre las rocas de edad supuestamente ordovícica y los cuerpos intrusivos mencionados; el primero de los perfiles se encuentra en las proximidades del yacimiento de Mina Milluni, el segundo entre las localidades de Sainani y Chururaquí. En base a las muestras recolectadas, se han llevado a cabo estudios de microscopía y rayos x, tendientes a delimitar zonas de diferente litología, a determinar la composición mineralógica de las rocas y las facies alcanzadas durante las transformaciones metamórficas.

UBICACION Y CARACTERES GENERALES DE LA REGION

El valle de Zongo, a través del cual corre el río homónimo, se desarrolla con un rumbo general NE dentro de la región comprendida en la hoja geológica Milluni, la misma que está situada entre los meridianos 68°00' y 68°30' y entre los paralelos 16°00' y 36°30', de latitud sur.

Fisiográficamente la zona de estudio forma parte de los Andes Orientales de Bolivia, más específicamente en el tramo correspondiente a la denominada Cordillera Real. Esta unidad (Cordillera Real), limita al oeste con el Altiplano, que constituye una extensa planicie con una altura de 3600 a 4100 m sobre el nivel del mar. Hacia el este limita con un extenso flanco en el que se encuentra una zona con serranías de menor elevación y valles profundos con clima templado a subtropical.

Geomorfológicamente se reconocen dos rasgos salientes, uno que corresponde a la Cordillera Real, donde tiene sus nacientes el río Zongo, con una altura promedio de 5000 m; el rasgo característico corresponde al valle propiamente dicho que tiene una altura aproximada de 1500 m. A lo largo del profundo valle en el que corre el río Zongo, se pueden observar los diferentes tipos de roca, entre los que se destacan las de naturaleza metamórfica, objeto del presente estudio, asimismo, se observan las rocas de composición granítica, que como mencionamos se encuentran configurando los intrusivos. Este conjunto de rocas ha sido descrito como el gran bloque paleozoico con rocas magmáticas como núcleos, por autores que se han referido a ésta zona.

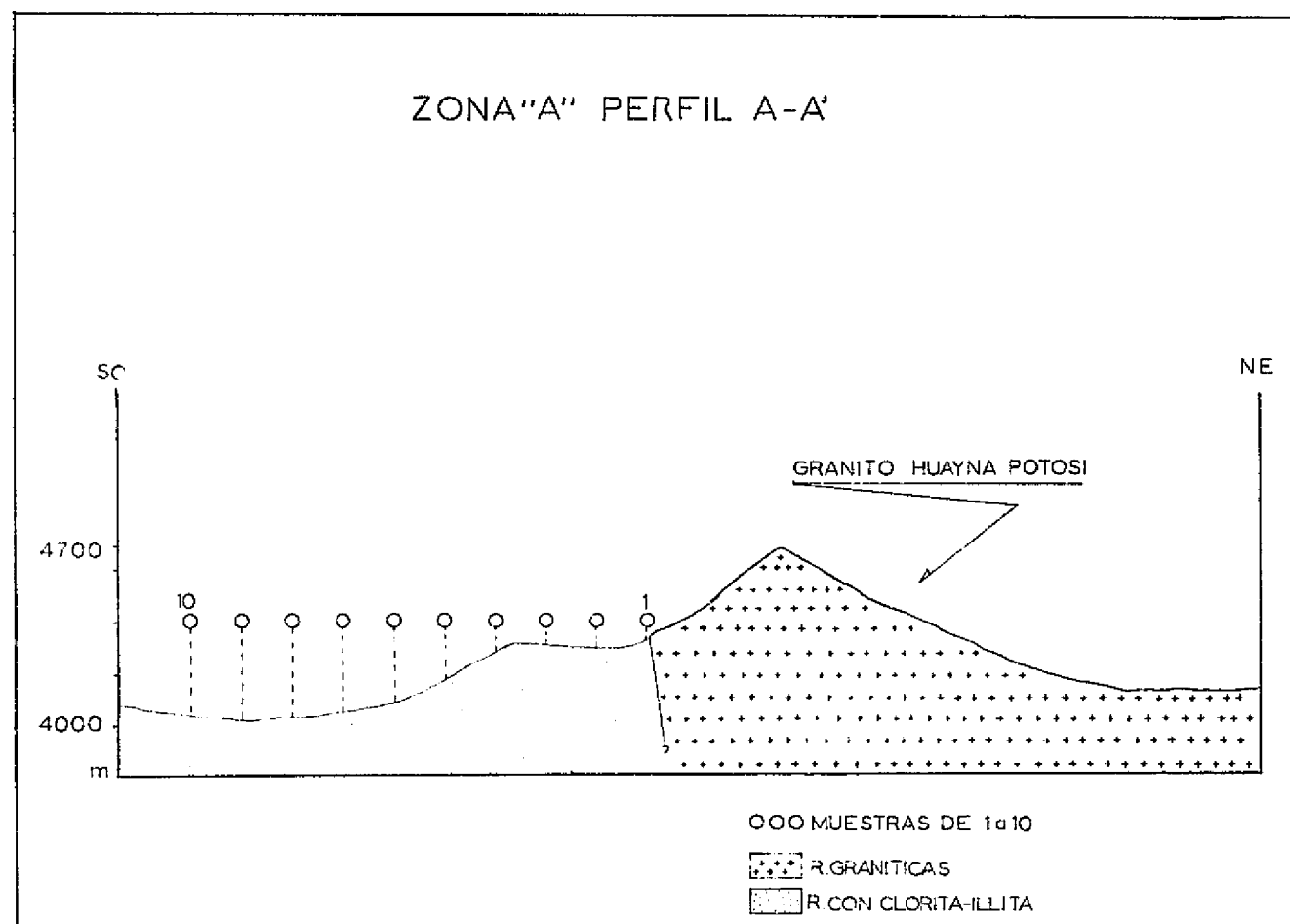


Lámina II

Finalmente deben destacarse todas las características que son peculiares en los procesos de erosión glacial, que han modelado el paisaje de la región.

CARACTERES GEOLOGICOS

Como se indicara anteriormente la región del valle de Zongo forma parte de la hoja Milluni, confeccionada y descrita por los Ingenieros T. Zubieta y H. Pérez (1970), los citados autores al referirse a la estratigrafía, señalan la presencia de rocas correspondientes a los sistemas: Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico, independientemente de las rocas de composición granítica correspondiente a los intrusivos de Huayna Potosí y Cuticucho.

Para los fines del presente estudio, se consideran de particular importancia las rocas a las que se les ha asignado edad ordovícica, por encontrarse en contacto con los cuerpos intrusivos y manifestar características metamórficas. Los autores antes mencionados al referirse al aspecto estructural de la zona, destacan una orientación general siguiendo un rumbo NE de los elementos estructurales de la Cordillera Real (ejes de pliegues, esquistosidad, fallas, elongación de los cuerpos intrusivos), estos elementos estructurales, siguen señalando T. Zubieta y H. Pérez, son el resultado de varios procesos orogénicos superpuestos que corresponden principalmente a una tectónica Hercínica y una posterior Andina. La primera está caracterizada por un intenso plegamiento, como consecuencia de un estilo de deformación plástica que corresponde a los niveles estructurales medio e inferior. La segunda se caracteriza por un estilo tectónico quebradizo que determina un profundo fallamiento y cizallamiento que corresponde a los niveles estructurales medio y superior.

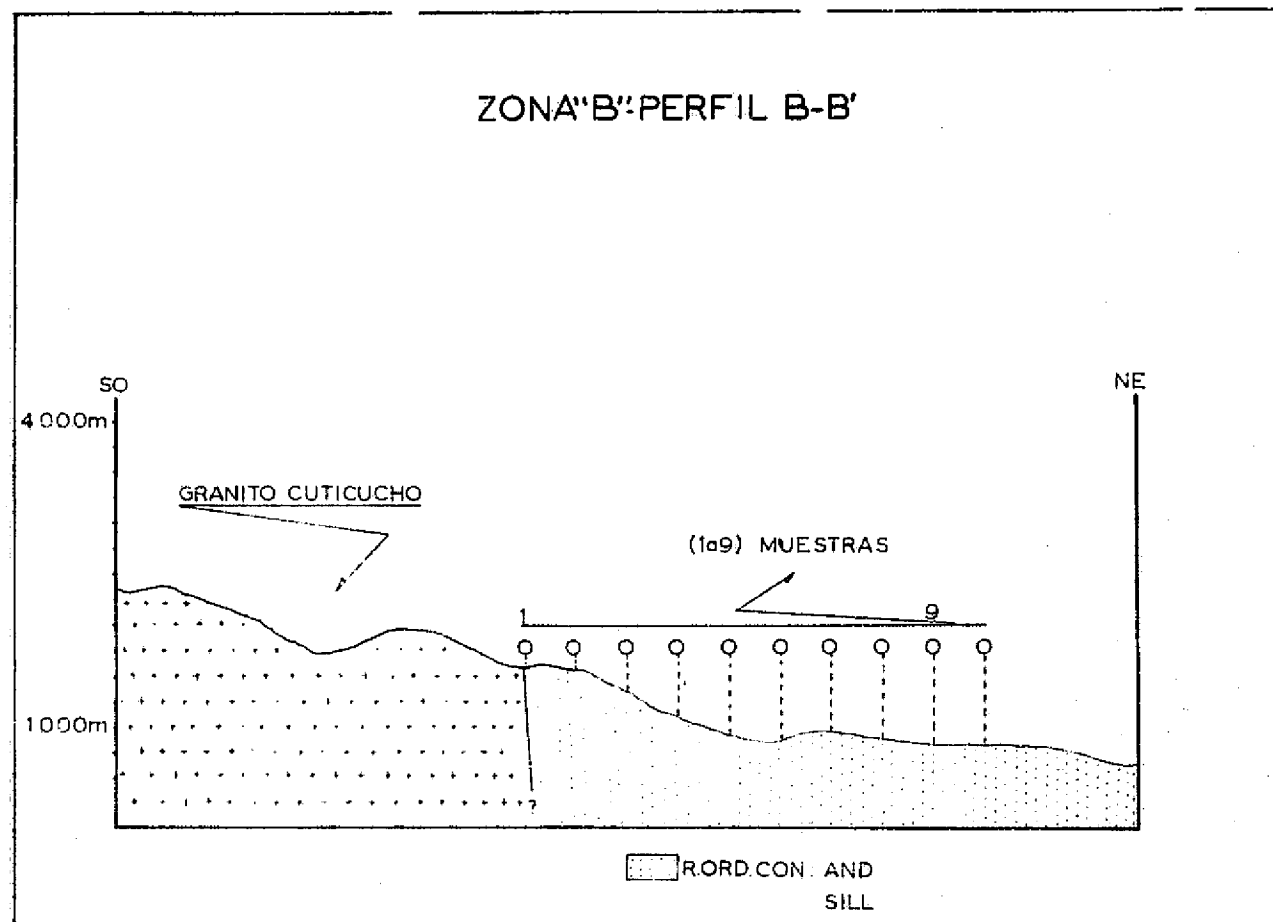
En lo que respecta a las rocas ordovícicas (?) se pueden diferenciar dos tipos litológicos que a su vez afloran en zonas diferentes que se las ha denominado: Zona A, a la constituida por rocas de grano fino, coloración gris negruzca, que en algunos lugares presentan una incipiente esquistosidad. Estas rocas afloran en el contacto con el intrusivo Huayna Potosí y en las proximidades de la localidad de Botijlaka. La zona B, está constituida por rocas claramente esquistosas de color gris blanquecino, con superficies brillosas, estas rocas se encuentran en contacto con el granito de Cuticucho, en el sector NE de la hoja.

CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Las muestras objeto de estudio han sido obtenidas a lo largo de dos perfiles que han sido graficados solo esquemáticamente y que corresponden a las dos zonas litológicas mencionadas.

Perfil A-A' (zona A)

Las muestras pertenecientes a este perfil tienen color gris-negro, constituidas por grano muy fino. Algunas muestras presentan una esquistosidad incipiente la misma que



Lamina III

desaparece en las rocas mas distantes del contacto; en las mas próximas a este, aparecen algunos microplegamientos y algunos otros rasgos que denotan su deformación, atribuible a los esfuerzos que determinaron el fallamiento que se observa en dicho contacto, el mismo que facilitó a su vez el emplazamiento del cuerpo intrusivo, el cual está constituido por rocas de aspecto granítico, constituidas por grano medio, en las que se observa, además de feldespatos y cuarzo, laminillas de mica que corresponden a biotita y muscovita. En forma general, se puede decir que las rocas ordovícicas (?), en contacto con este intrusivo, tienen aspecto de sedimentitas pelíticas con alguna deformación e incipiente esquistosidad.

Perfil B-B' (Zona B)

Las rocas de este perfil presentan una marcada esquistosidad con rumbo N-130°, son de color gris blanquecino y tienen un notable brillo determinado por su alto contenido de micas; en algunas de las muestras se puede observar la orientación de las folias micáceas, así como la presencia de "motas" o "pintas" producto de acumulaciones locales de mica.

Por otra parte se han observado también características de deformación o cataclásis en algunas muestras, especialmente en aquellas próximas al contacto del granito Cuticucho. Este cuerpo intrusivo está compuesto por rocas de grano más desarrollado, con abundante contenido de muscovita en grandes folias y algunas muestras con grandes cristales de turmalina.

Al margen de las diferencias existentes entre las rocas descritas y que corresponden a las dos zonas delimitadas, se puede mencionar como un rasgo común a ambas, la presencia de fallas que se encuentran en el contacto de las rocas ordovícicas (?) con los respectivos cuerpos intrusivos.

De las observaciones anteriores, se pueden diferenciar las mencionadas zonas A y B, acotando que la primera de acuerdo a las observaciones, se encuentra formada por rocas pelíticas con características sedimentarias; mientras que la segunda, por rocas esquistosas evidentemente metamórficas.

OBSERVACIONES MICROSCOPICAS

En el presente capítulo se hacen las descripciones correspondientes a las rocas de las zonas A y B.

Zona A.- De acuerdo con las observaciones microscópicas de las muestras de esta zona, se puede notar una evidente homogeneidad de las mismas. Entre los principales minerales que las constituyen encontramos CUARZO constituyendo principalmente la parte clástica de la roca, su tamaño varía entre 0.05 y 0.15 mm., ocasionalmente se observan clastos con extinción ondulante. Este mineral se encuentra también formando parte de las finas vetas con textura de mosaico, cuyo origen se atribuye al relleno de pequeñas fracturas que aparecen en la roca.

--	--	--	--	--	--	--

40'

Marcelo Arduz T.

Foto 1. Andalusita con zonación, en la parte superior de la fotografía se observa un núcleo (N) compacto, en la parte inferior una zona externa (E) esponjosa y con pequeñas inclusiones.

Foto 2. Se observan fibras de Sillimanita, desarrolladas sobre cristales de Biotita. Muestra - S - 3.

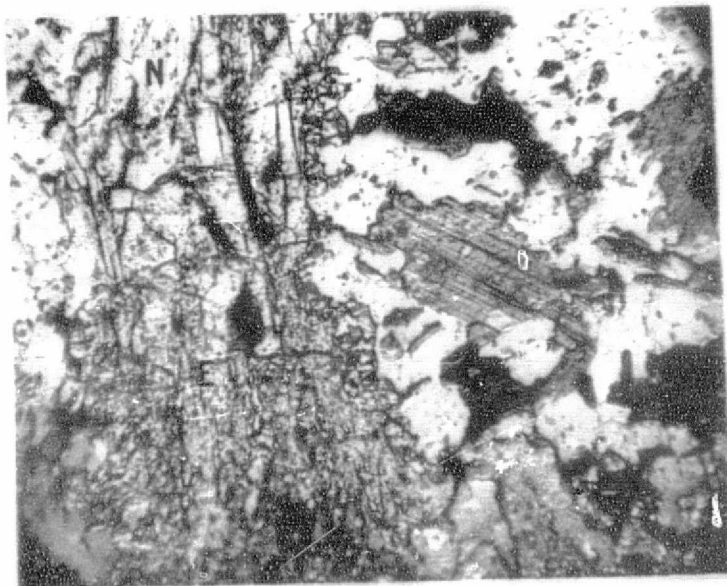


FOTO 1

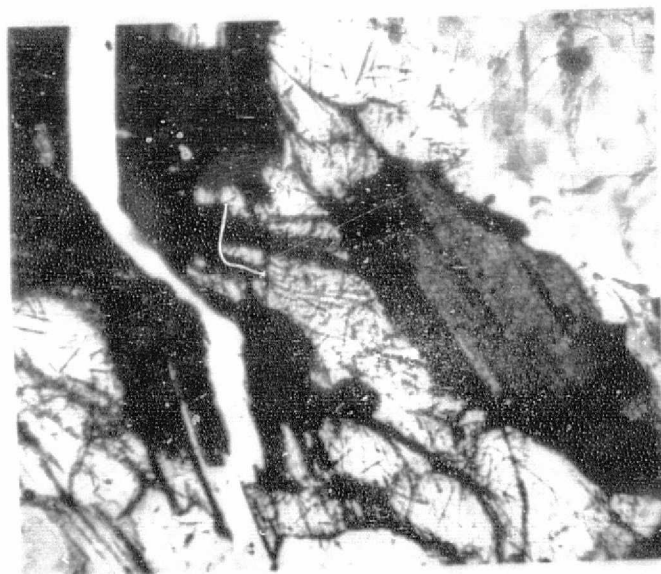


FOTO 2

Lámina IV

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

36

Foto 3. Andalusita con aspecto esponjoso (AND) diseminada en matriz cuarzosa (Q₂).

Foto 4. Textura profiroblástica, muy común, observable en casi la totalidad de las rocas metamórficas de la Zona B. Se observa un porfiroblasto de biotita en matriz cuarzosa. Muestra S - 7.

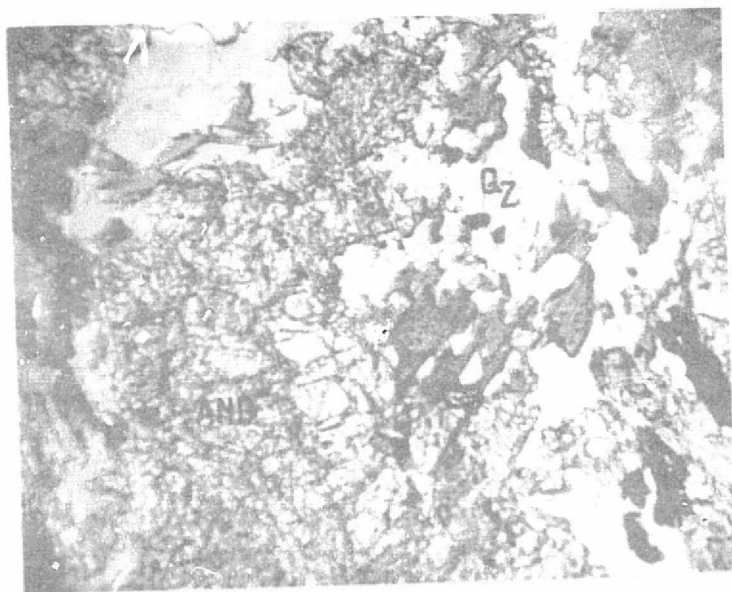


FOTO 3

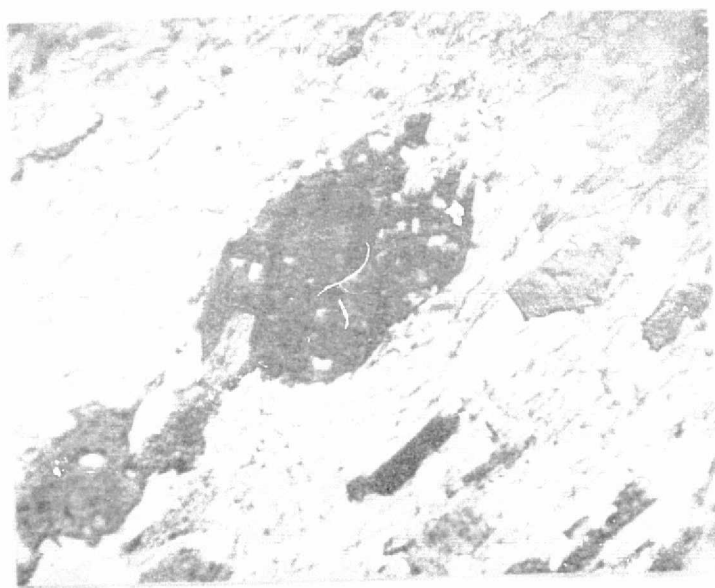


FOTO 4

Lamina V

ORIGINAL PAGE IS
POOR QUALITY

Foto 5. Cristales de turmalina de contornos bastante regulares junto a otros de cuarzo formando la matriz Muestra S - 4.

Foto 6. Láminas de biotita de clivaje (más oscuras); ocurre particularmente en las muestras con evidencias de cataclasis. Muestra S - 8.

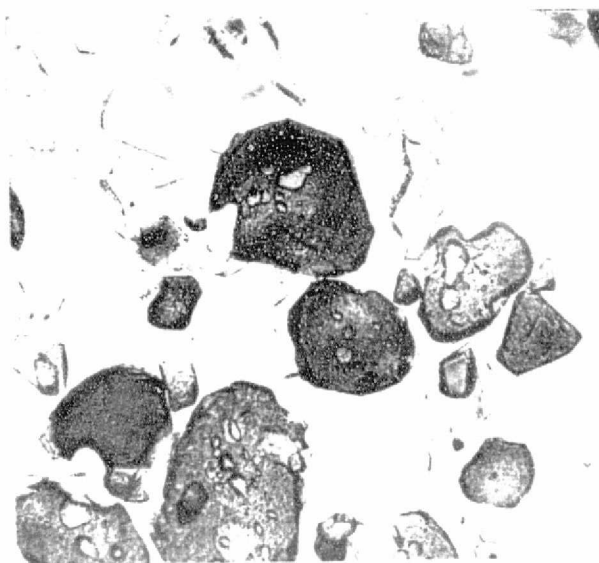


FOTO 5

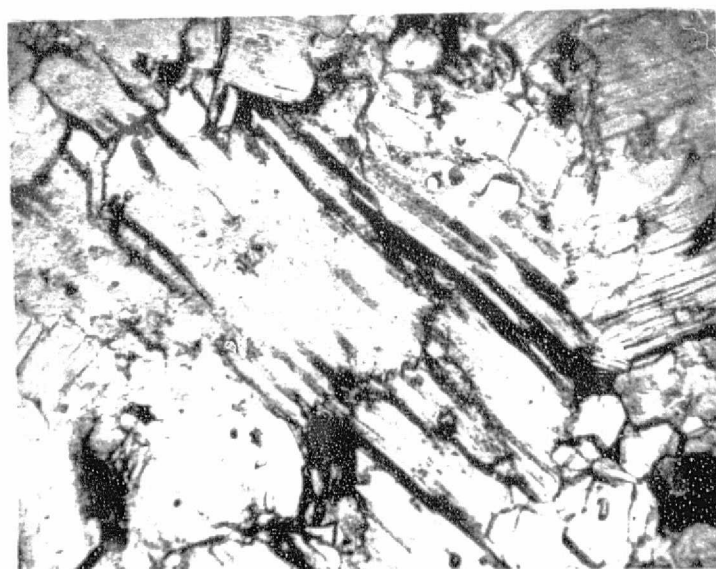


FOTO 6

Lámina VI

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Foto 7. Andalusita que presenta una parte central inalterada (N) con contornos alterados en un fino agregado de tipo Shimmer (S), debido a un fenómeno de diaftóresis Muestra S - 3.

Foto 8. Se observa en la parte central de la foto un cristal de cordierita (CORD) que presenta algunas inclusiones y está rodeado de cuarzo y algunas láminas de mica. Muestra S - 3.

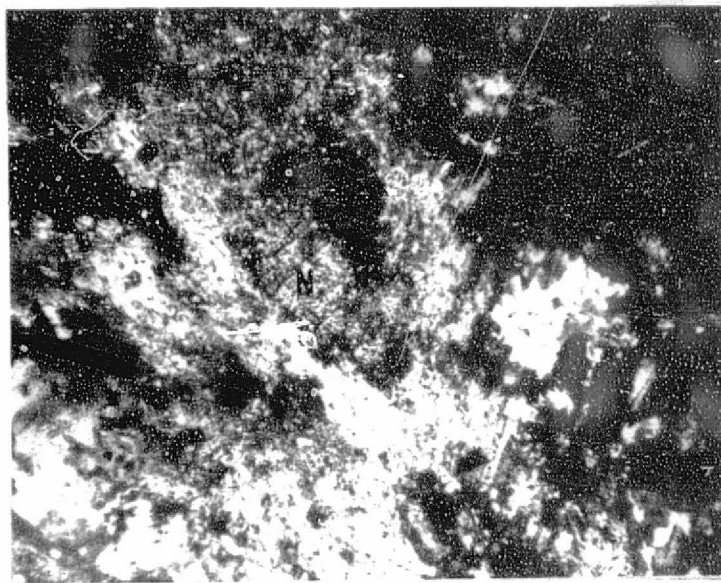


FOTO 7



FOTO 8

Lamina VII

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

La matriz de estas rocas está constituida por material muy fino, es a su vez predominante con respecto a la parte clástica; en ella se pueden diferenciar minerales tales como Muscovita en laminillas que no manifiestan una orientación preferencial, con un tamaño que varía entre 0.01 y 0.04 mm. También como mineral constituyente de la matriz, se encuentra CLORITA en forma diseminada, es también frecuente encontrar finos agregados de SERICITA. En cantidad muy reducida aparecen algunos individuos de PLAGIOCLASA. Dado el tamaño muy reducido de los minerales que forman la matriz y por tanto la dificultad de su identificación, se ha realizado un análisis por difracción de rayos x, el mismo que se detalla en un capítulo posterior.

De los análisis microscópicos de las diferentes muestras, concluimos que se trata de rocas pelíticas las que no presentan evidencias de metamorfismo, que tienen una composición mineralógica bastante homogénea y que solamente presentan ciertas variaciones textuales evidenciadas por una disminución del material clástico con respecto a la matriz, particularmente en las muestras Z-3 y Z-6.

Zona B.- Tomando en forma conjunta los análisis de las diferentes muestras, se puede decir que la composición general está representada por CUARZO de forma subhedral, la extinción ondulante es el tipo dominante, la misma es mas acentuada en algunos individuos que en otros. Es este uno de los constituyentes que se encuentra en mayor cantidad, su tamaño varía entre 0.09 y 0.18 mm y se encuentra configurando la matriz de las rocas, conjuntamente con la MUSCOVITA y la BIOTITA, las cuales se encuentran en laminillas que en general están orientadas según una dirección preferencial. Ocasionalmente, tanto una como otra, se encuentran formando profiroblastos, de color castaño rojizo en la segunda, e incoloros en la primera. Acompañando a la biotita, es frecuente encontrar SILLIMANITA en individuos de hábito fibroso (variedad fibrolita), aunque en cantidad reducida.

Otro de los minerales que aparece con frecuencia es la ANDALUSITA, generalmente configurando profiroblastos con un tamaño variable entre 0.6 y 1.3mm., en dichos profiroblastos se puede notar una zonación debida a dos etapas de crecimiento diferentes en el desarrollo de este mineral. Es así que se puede observar una zona central, de aspecto compacto, en la que no aparecen inclusiones y otra zona externa, en la que si son abundantes las inclusiones, particularmente de cuarzo de un tamaño entre 0.01 y 0.04mm., esta última zona tiene un aspecto esponjoso y determina una textura de tipo poiquiloblástico.

En muestras que tienen evidencias de cataclásis, tales como algunas encontradas en las proximidades del contacto, se han observado profiroblastos de ANDALUSITA que están casi completamente remplazados por un fino agregado de aspecto sericítico, semejante al descrito por M. Naggar y M.P. Atherton (1970), como SHIMMER, al estudiar las rocas que contienen silicatos de aluminio en las aureolas de los granitos Donegal.

Otro mineral que es abundante en algunas muestras es la TURMALINA, de color castaño verdoso, en cristales que forman la matriz y en algunos casos profiroblastos de 0.3 a 0.5mm.

En cantidad reducida se han encontrado cristales de CORDIERITA alterados a PIRITA que en ocasiones afectan prácticamente a todo el cristal. Como minerales que aparecen en cantidad muy reducida se pueden mencionar PLAGIOGLASAS y algo de APATITA.

De acuerdo con el contenido mineralógico y las evidencias de cataclásis observadas en las rocas de esta zona, se hace la siguiente diferenciación:

- b₁ Variedad esquistosa con porfiroblastos de BIOTITA Y TURMALINA ESQUISTOS NODULOSOS CON TURMALINA Y BIOTITA,
- b₂ Variedad esquistosa con CORDIERITA, ESQUISTOS CON CORDIERITA,
- b₃ Variedad esquistosa con porfiroblastos de ANDALUSITA, ESQUISTOS NODULOSOS CON ANDALUSITA,
- b₃-1 Variedad cataclástica con evidencias de metamorfismo retrógrado.
- b₃-2 Variedad con evidencias de zonación en la andalusita.

TEXTURAS

A partir del análisis de las texturas estudiadas, se las puede clasificar en:

- A) Texturas de aspecto sedimentario
- B) Texturas de aspecto metamórfico
 - B₁ Lepidoblásticas
 - B₂ Granoblásticas
 - B₃ Porfiroblásticas
 - B₄ Poiquiloblásticas
 - B₁-2 Lepidoblásticas a Granoblásticas
 - B₂-1 Granoblástica a Lepidoblásticas.

El caso más común en las rocas observadas consiste en una textura que resulta de la combinación de las descritas anteriormente, por ej.: Textura porfiroblástica con porfiroclastos de ANDALUSITA, que a su vez tienen textura poiquiloblástica, sobre una matriz de textura lepidoblástica a granoblástica.

ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

Este análisis está referido en particular a las rocas pelíticas correspondientes a la zona A. Ha sido realizado sobre 10 muestras las cuales fueron obtenidas a partir del contacto con el intrusivo Huayna Potosí.

Para el estudio mediante la difracción de rayos x, se ha procedido a la obtención de la fracción menor de 4 micrones, para lo cual las rocas son previamente molidas y luego puestas en suspensión. Esta fracción menor a 4 micrones se deposita sobre una lámina de vidrio la que es puesta a secar lentamente y como es sabido, durante el tiempo del secado las partículas se orientan naturalmente de forma tal que sus planos (001) quedan paralelos a la lámina de vidrio.

El aparato utilizado es un difractómetro Phillips con radiación de Cu con longitud de onda de 1,54 Å con tensión de 40 Kv y 18ma. Los registros obtenidos tienen valores angulares para el ángulo 2θ entre 2 y 30°.

Se han identificado ILLITA y CLORITA como los minerales arcillosos predominantes, entre ellos, se puede observar que la ILLITA es la que se encuentra en mayor cantidad, teniendo en cuenta las 10 muestras analizadas. Cuarzo y feldespato constituyen los minerales no arcillosos principales, se encuentran en cantidad subordinada con relación a los anteriores y se puede señalar que mantienen una proporción más o menos constante en las diferentes muestras.

Del análisis particular, de cada uno de los difractogramas, se puede observar que las muestras Z-3 y Z-8 presentan como el único mineral de las arcillas de ILLITA perfectamente definida por sus reflexiones a 10Å (001); 4.99Å (002) y 3.33Å (003). En ambos casos las impurezas que acompañan son el CUARZO con sus reflexiones en 4.26Å, 3.33Å y feldespatos con sus reflexiones 3.18 y 3.20Å. Además se puede observar que la ILLITA de la muestra Z-8 presenta una mejor cristalinidad evidenciada por la mayor intensidad de sus reflexiones.

Las muestras Z-1, Z-2, Z-4 y Z-5 también presentan como mineral predominantes a la ILLITA la cual va asociada con una reducida proporción de CLORITA, esta última caracterizada por sus reflexiones en 14, 1Å (001); 7.1 (002) y 3.53Å (004), en este caso también se evidencia la presencia de cuarzo y feldespato en escasa proporción.

En los difractogramas correspondientes a las muestras Z-6, Z-7, Z-9 y Z-10, la proporción ILLITA sigue siendo predominante, pero la clorita que acompaña a ésta, es mucho más abundante que en los casos anteriores, lo cual se evidencia perfectamente por el aumento de la intensidad correspondiente a la reflexión (002) con 7.1Å en este mineral.

Con respecto a la cristalinidad de la ILLITA, no se observa mayor variación y por la determinación del índice de Weaver, en todos los casos indica que la ILLITA aquí presente no ha sufrido metamorfismo y se encontraría en la zona correspondiente a rocas diagenizadas solamente (anchimetamórficas). Finalmente se considera que tanto la ILLITA como la CLORITA, serían detríticas, es decir se depositaron originalmente como tales y no han sufrido posteriormente mayores modificaciones en sus estructuras.

PETROLOGIA

De acuerdo con las evidencias de campo y las diferentes características textuales y

mineralógicas observadas microscópicamente, se estima que la historia metamórfica, de las rocas estudiadas, se llevó a cabo en varios episodios íntimamente ligados a la actividad tectónica de la zona.

Las evidencias metamórficas observadas indican la existencia de rocas esquistosas formadas bajo condiciones de metamorfismo regional dinamotérmico de baja presión, correspondiente a las series de abukuma, compuestas por minerales tales como la SILLIMANITA, CORDIERITA, esta última generalmente alterada a pinita. Las mencionadas rocas esquistosas corresponden a una facie de ANFIBOLITAS CORDIERITICAS, constituyendo el primer episodio metamórfico "E₁"

Con posterioridad a este episodio, se habría producido una etapa de actividad tectónica "F₁" con un profuso plegamiento de la zona, que se evidencia con la presencia de los sinformes aproximadamente paralelos con rumbo N130E que aparecen en los extremos NE y SO de la hoja Milluni. Entre ambos sinformes se levanta un gran antiforme constituido por el conjunto de rocas ordovícicas (?) metamorizadas, con núcleos de rocas graníticas, datadas por Everden (1961) como triásicas. Esta etapa de actividad tectónica es compatible con la tectónica Hercínica mencionada por T. Zubieta y H. Pérez (1970) al describir la hoja Milluni. Con posterioridad y constituyendo la fase "F₂", se habría producido la intrusión en profundidad de los cuerpos de composición granítica del Huayna Potosí y Cuticucho, de edad triásica como se mencionó anteriormente (Everden 1961). Resulta evidente que el efecto término de estas intrusiones, actuó sobre las rocas esquistosas adyacentes y determinó transformaciones, dando lugar a rocas con elevado contenido de ANDALUSITA en forma de portiroblastos, también de BIOTITA y TURMALINA, pero en menor cantidad.

La aparición de estos esquistos con porfiroblastos de ANDALUSITA, constituye el segundo episodio metamórfico "E₂", compatible con las facies de HORNFELS HORNBLENDIFEROS del metamorfismo de contacto. Este episodio, es seguido por un nuevo evento tectónico "F₃", caracterizado por un intenso fallamiento de la zona, el mismo que facilitaría el ascenso diferencial de los cuerpos intrusivos de composición granítica. Este evento estaría relacionado con la orogenia Andina enunciada, como la que se superpone a la Hercínica por T. Zubieta y H. Pérez (1970).

Este ascenso diferencial de los granitos nos permite explicar la existencia de rocas de alto grado metamórfico en las adyacencias del granito Cuticucho, las mismas que habrían sido ascendidas de un nivel profundo donde fueron afectadas térmicamente por el granito, hasta el nivel de erosión donde actualmente están expuestas. Este fenómeno de la aparición de rocas de alto grado metamórfico, no se repite en la zona de contacto del granito Huayna Potosí, donde las rocas adyacentes son de naturaleza sedimentaria y no han sido afectadas térmicamente por el intrusivo, el cual en su ascenso no fue acompañado por rocas que se infiere habrían sido metamorizadas térmicamente en profundidad. Estas rocas sedimentarias pelíticas, conforman la zona litológica A, las que como se indica en el capítulo correspondiente, tienen como minerales predominantes la ILLITA y CLORITA.

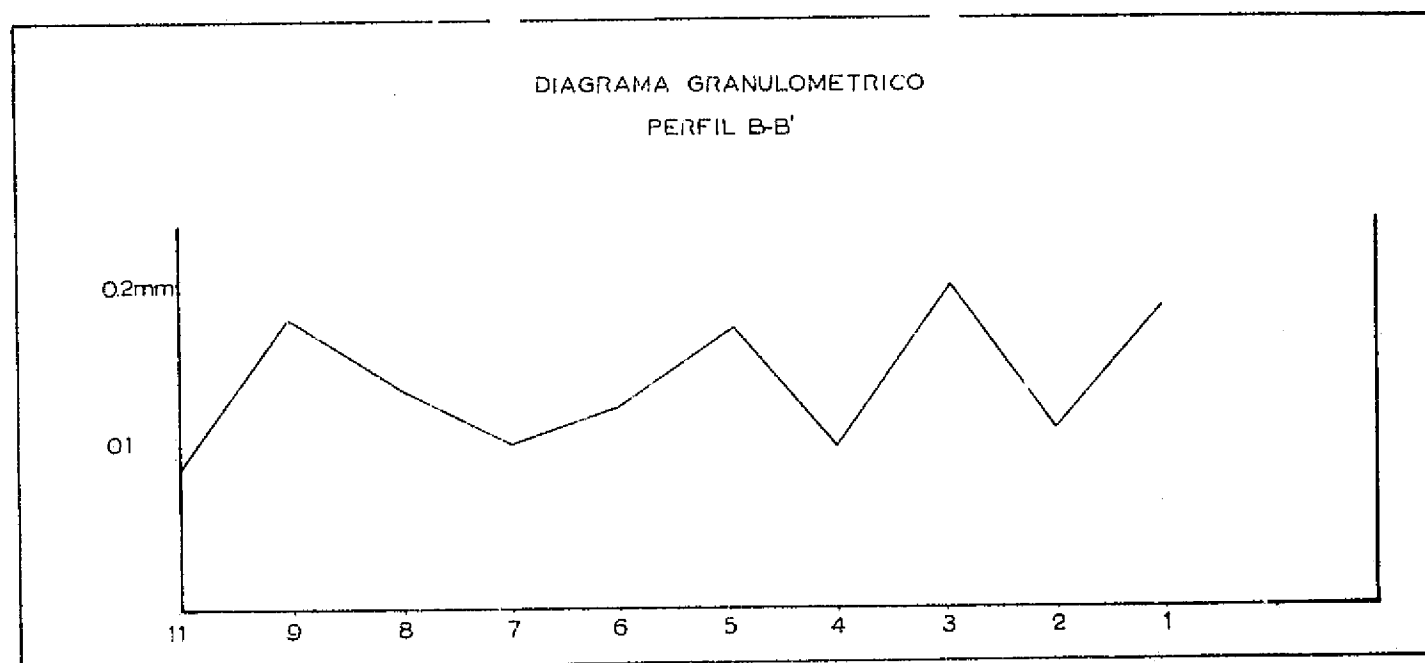


Lámina VIII

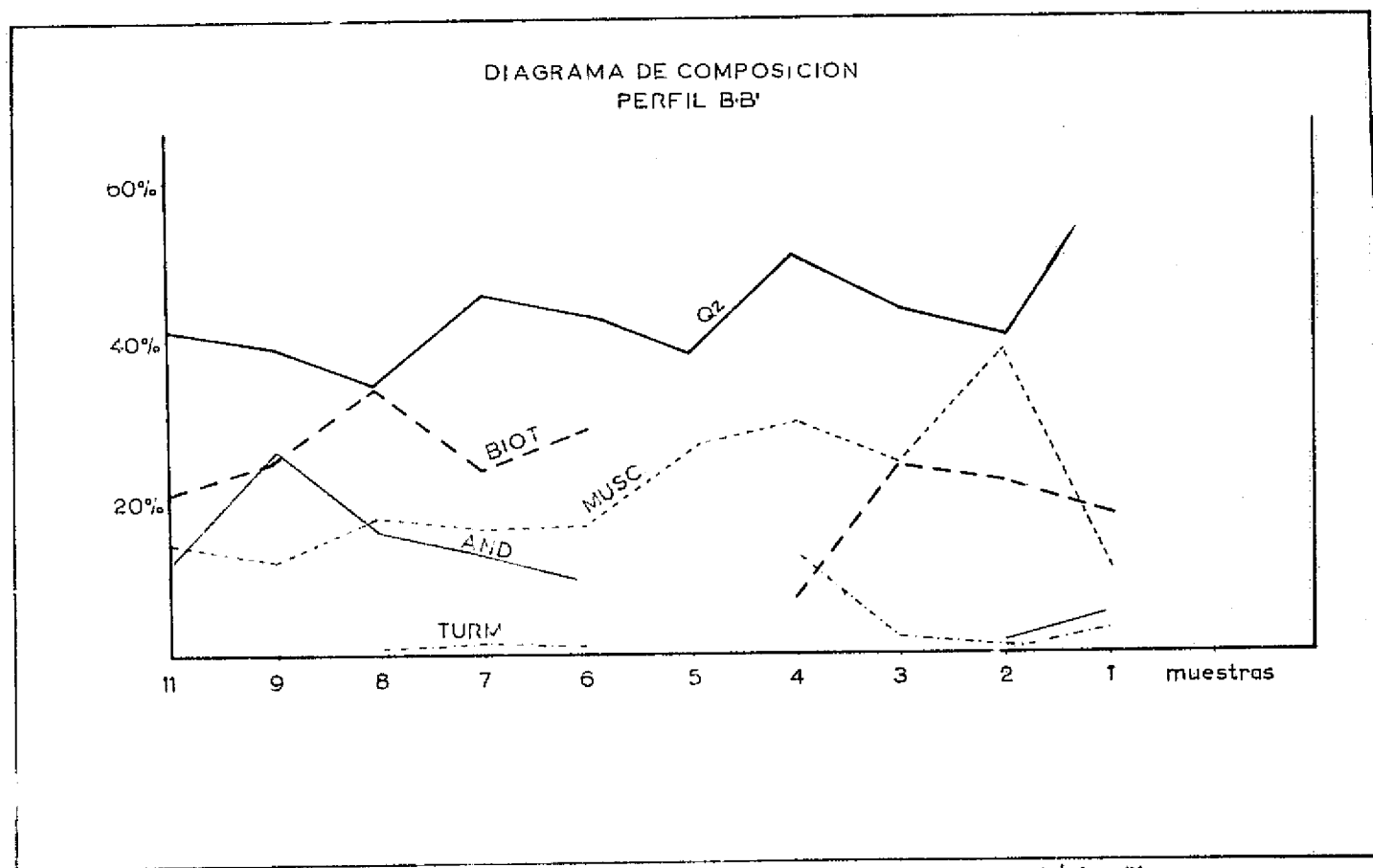


Lámina IX

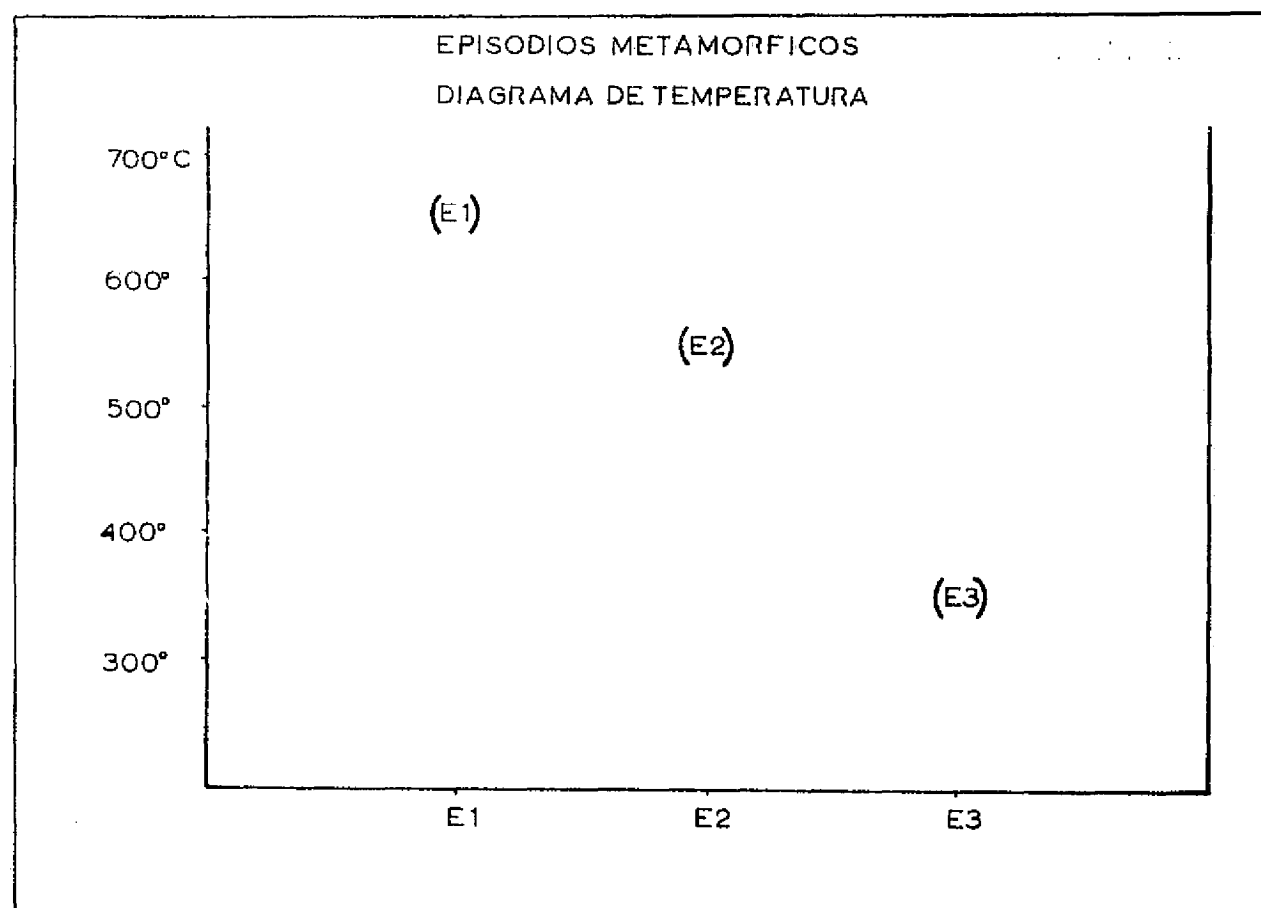


Lámina X

El tercer y último episodio metamórfico "E₃", está evidenciado por las rocas metamórficas notablemente esquistosas de la zona B, es decir, las que se encuentran en contacto con el granito Cuticucho. Dichas rocas están compuestas por minerales tales como CLORITA y MUSCOVITA, formados a partir de BIOTITA y ANDALUSITA respectivamente, por un proceso de metamorfismo retrógrado o diaftóresis, al cambiar las condiciones de presión y temperatura como consecuencia del ascenso de estas rocas al nivel de erosión a consecuencia del evento tectónico "F₃". Las rocas correspondientes a este último episodio metamórfico "E₃" son compatibles con las facies de ESQUISTOS VERDES del metamorfismo regional, subfacies con clorita.

RESUMEN DE LOS EVENTOS TECTONICOS Y EPISODIOS METAMORFICOS:

Eventos tectónicos	Episodios metamórficos
(F ₁) Plegamiento	(E ₁) Metamorfismo regional dinámico, Serie de Abukuma, Facies de Anfibolitas Cordieríticas.
(F ₂) Intrusión de granitos	(E ₂) Metamorfismo de contacto Facies de Hornfels Hornblendíferos.
(F ₃) Fallamiento y ascenso diferencial de bloques	(E ₃) Metamorfismo regional retrógrado (Diaftóresis) Facies de esquistos verdes.

RESUMEN DE LOS EPISODIOS METAMORFICOS Y EVIDENCIAS MINERALES:

Episodio metamórfico	Evidencia Mineral
(E ₁)	Sillimanita Cordierita
(E ₂)	Andalusita Biotita
(E ₃)	Biotita (pasa a) Clorita Andalusita (pasa a) Muscovita

CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios realizados sobre la base de las muestras obtenidas, se puede concluir:

1. La existencia de dos zonas litológicamente diferentes de rocas ordovícicas (?), en contacto con los intrusivos de composición granítica de Huayna Potosí y Cuticucho:

Zona A: Rocas Pelíticas sedimentarias con ILLITA y CLORITA.

Zona B: Rocas metamórficas esquistosas con SILLIMANITA, CORDIERITA, ANDALUSITA, BIOTITA etc.

2. La existencia de un fenómeno de polimetamorfismo en las rocas correspondientes a la zona B, evidenciado por la mineralogía, determinando tres episodios metamórficos, que a su vez corresponden a diferentes facies.

E₁ metamorfismo regional dinamo-térmico, Facies de ANFIBOLITAS CORDIERITICAS (Sillimanita, Cordierita).

E₂ metamorfismo de contacto, facies de HORNFELD HORNBLENDIFEROS. (Andalusita, Biotita).

E₃ metamorfismo regional retrógrado, facies de ESQUISTOS VERDES (Clorita, Muscovita).

3. Una sucesión de fases o eventos tectónicos íntimamente ligados al metamorfismo:

F₁ Plegamiento

F₂ Intrusión de granitos en profundidad

F₃ Fallamiento y ascenso diferencial de los bloques graníticos hasta el nivel de erosión.

4. El ascenso diferencial de los bloques permite explicar, por una parte la discontinuidad mineralógica en la secuencia de las rocas metamórficas de la zona B, por otra parte la no ocurrencia de las rocas metamórficas en la zona A, en el contacto con el intrusivo de Huayna Potosí.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo, deja expresa constancia de su agradecimiento a las autoridades de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata en la República Argentina, que facilitaron la ejecución del mismo. Al personal de la cátedra de Petrología, en particular al Dr. Jorge O. Kilmurray quien brindó su cordial apoyo y asesoramiento, Al Dr. Mario A. Iñiguez, quien posibilitó la realización de los análisis por difracción de rayos x.

La Plata, noviembre de 1973.

BIBLIOGRAFIA

- Atherton M.P. y Naggar M.H. 1970 The composition and Metamorphic history of some aluminium silicate - bearing rocks from the aureoles of the Donegal granites. *Journal of Petrology*, VII, part 3, pp549-89
- Den Tex, E. 1971 The facies group and facies series of metamorphism and their relations in the earth's crust. *Lithos*, 4, pp23-41.
- Dorothy, C. 1970 Clay minerals: A guide to their X-Ray identification. The geological Society of America. Special paper 126.
- Hollister S. L. 1969 Contact metamorphism in the Kwoick area of British Columbia: An end member of the metamorphic process. *Bulletin of Geol. Soc. of America*. V, 80, pp2465 - 2494.
- Iñiguez A.M. 1968 Minerales de las arcillas interestratificadas en los sedimentos del Paganzo. (Provincia de La Rioja) *Rev. del Museo de La Plata, nueva serie sección geología* Tv I, pp273-300.
- Iñiguez A. M. 1969 Evolución de los minerales de las arcillas en las formaciones paleozoicas de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. *Cuartas jornadas geológicas argentinas*, T I. pp897 - 408.
- Kilmurray J.O. 1970 Las facies del metamorfismo en la Sierra de Maz, Provincia de La Rioja República Argentina. *Rev. de la Asoc. Argentina de Min. Petro. y Sedimentología*, T I N°s.
- Kilmurray J.O. y Dalla Sakla 1971 Fases de deformación y metamorfismo en la Sierra de Maz, Provincia de La Rioja Rep. Argentina. *Rev. de la Asociación Geol. Argentina*, T, XXVI N° 2 pp245 - 263;
- Kilmurray J. O. y Dalla Sakla L. 1971 Las facies de deformación y metamorfismo en el área del cerro Valdivia, Provincia de San Juan, República Argentina T., XXVI N° 1, pp25 - 39.
- Pérez H. y Zubieta T. 1970 Descripción Geológica de la hoja Milluni, Serv. Geol. Bolivia.
- Weaver, C.E. 1956 The distribution and identification of mixed layer clays in sedimentary rocks. *Amer. Min.* pp202 - 221.

PROYECTO INSTALACION DE UNA BATERIA EN EL CAMPO LOS MONOS

Eduardo Ayala A.*

RESUMEN

El diseño ha sido elaborado para las condiciones específicas y particulares del Campo Los Monos.

Como característica importante debe destacarse que la instalación será semi-automática, con un sistema de control e instrumentación de acción neumática - mecánica, utilizando el gas como fuente de energía.

SUMMARY

The design has been prepared for specific conditions such as "Los Monos" field.

One of the important characteristics that should be emphasize is the fact that the installation will be semiautomatic with a convine pneumatic - mechanic control system, which works with combustible gas.

1.0 ANTECEDENTES

El presente proyecto tiene como base el estudio Nº 1-202 del DPIP, sobre la evaluación y predicción del comportamiento del Campo en su etapa de explotación. La alternativa I del citado trabajo, que será puesta en práctica por recomendación del DPIP, propone en una primera fase, el reacondicionamiento de los pozos LMS-3, LMS-4 y LMS-8; y luego la perforación de 4 pozos adicionales (Ub-F, E, C y G).

Para los propósitos de diseño se ha tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Las máximas producciones previsibles, de los niveles petrolíferos, como igual a 2.300 BOPD (366 MCD) y 1.84 MMPCD de gas asociado.
- b.) La posibilidad de perforación de pozos adicionales de avanzada hacia el norte y sur de la estructura.

*Depto. de Producción - Distrito Camiri - Gerencia de Explotación.



2.0 INTRODUCCION

El Campo Los Monos presenta una topografía regional sumamente accidentada, que a más de las limitaciones en el aspecto logístico, hará problemáticos los trabajos relativos a las instalaciones de líneas de recolección y transferencia. Por otro lado, este hecho también restringe las alternativas en cuanto a ubicación del área destinada a Batería y Planta.

Del estudio y levantamiento efectuado por el DTXS y el Departamento de Ingeniería Civil, se ha seleccionado como las ubicaciones más adecuadas, las contiguas al pozo LMS-4. La ubicada al SE estará destinada a la Planta de Proceso y la que se halla al NE servirá para la instalación de la Batería. Esta cercanía permitirá en el futuro aprovechar las facilidades de la Planta (energía eléctrica, oficinas, etc.) y por otra parte, atender ambas instalaciones con un mismo personal.

Del informe geológico (CI N° 297/74-DTXS), se desprende que el área seleccionada tiene buenas condiciones de estabilidad. Será recomendable efectuar un examen relativo a la mecánica de suelos para ver la condición del terreno para fundar. Su mejor equidistancia de los pozos productores y el menor movimiento de tierras con relación a la otra alternativa (100 m al sur del Campamento), incidieron fundamentalmente en la elección.

3.0 UBICACION

La batería será instalada en las cercanías y al NE del pozo LMS-4. Se dispondrá de un área total aproximada de 2.100 m² de forma geométrica no regular; es decir, constituida por dos rectángulos contiguos que forman entre sí una pequeña curvatura.

Sus coordenadas UTM aproximadas, son las siguientes:

$$\begin{aligned} X &= 440,770 \\ Y &= 7,642,320 \\ Z &= 747 \text{ msnm.} \end{aligned}$$

4.0 OBRAS CIVILES

4.1 Primera Fase

Comprende:

- a. Construcción planchada separadores y tanques. Dimensiones aproximadas: 60 x 30 m.

- b. Construcción planchada bombas. Dimensiones: 30 x 10m; con un desnivel de 5.0 m más baja que la planchada de tanques y separadores.
- c. Planchada quemador. Con un área desmontada de 40 x 40 m y a 180 m aproximadamente al SO de la batería.
- d. Fosa de drenaje. Dimensiones: 15 x 10 x 2 m ubicada a 250 m al SE de la batería.

4.2 Fundaciones

Son las fundaciones del equipo mayor, tales como:

- a. Colectores
- b. Separadores
- c. Tanque almacenaje (5000 Bbls.)
- d. Bombas
- e. Tanque de agua (1000 BPD)
- f. Bomba contra incendio
- g. Edificios para bombas

Los planos correspondientes de diseño se solicitará los efectúe el Departamento de Ingeniería Civil, una vez se dispongan de especificaciones precisas en cuanto a dimensionamiento se refiere.

4.3 Misceláneos

Esta fase de trabajos se los ejecutará en forma paralela al montaje e instalación de la batería y comprende:

- a. Caseta oficina y radio. Area total construcción 270 ft² (ver plano).
- b. Fundaciones para soportes cañería
- c. Aceras
- d. Canaletas y drenajes
- e. Nivelación y riplado (grava seleccionada $\phi < 1.1/2"$)
- f. Colocación cerco protección

5.0 SISTEMA DE RECOLECCION

De acuerdo a la planificación elaborada se dispondrán de un total de 12 líneas, de las cuales 10 provienen de niveles petrolíferos. En las instalaciones en boca de pozo se tiene previsto el empleo de una válvula de seguridad automática en cada línea, operada por baja presión por acción de un piloto.

Las líneas de recolección estarán constituidas, en todos los casos, por cañería 3.5" OD para soldar, API-5L grado X-35, espesor 0.216" concurrentes al colector ubicado en la batería. Para su instalación se aprovechará de la senda que será construída para el tendido del oleoducto (obra a cargo GID), que atraviesa el campo de sur a norte. Estarán en su totalidad enterradas, lo cual posibilitará dotar al sistema de una mayor protección y seguridad, con menores costos de mantenimiento, teniendo en cuenta sobretodo que se trata de una zona de poca estabilidad y con derrumbes frecuentes.

El requerimiento total, en cuanto a material tubular se refiere, está detallado en la tabla N° 1 del anexo. Sin embargo, en la confección de pedidos se preverá las necesidades posibles que podrán significar la perforación de pozos adicionales en el campo. Esta misma proyección es tomada en cuenta para las especificaciones del equipo y unidades.

Los trabajos, al no contar con personal calificado y equipo necesario en la Empresa, deberán adjudicarse a compañías contratistas especialistas.

Se dispondrá en batería de un colector (C-1) montado sobre patines con válvulas 3" ASA 900 y capacidad de 12 líneas, contará con 2 cabezales de 4" para producción de alta y baja presión y un cabezal de 3" para el pozo en prueba.

6.0 SISTEMA DE SEPARACION

El manejo y procesamiento de gas y petróleo exigirá la utilización de 2 grupos de unidades de separación, que estarán montadas sobre patines:

6.1 De alta presión

Asumiendo las mismas condiciones que para el campo Caigua (análisis PVT), la presión de separación para esta etapa ha sido estimada en 250 Psia. Las 2 unidades a ser utilizadas tienen las siguientes características:

De Grupo:

Código:	SH - 1
Tipo:	Horizontal - Dos fases
Dimensiones:	36" OD x 10' 0"
Presión trabajo:	500 Psi
Presión operación:	250 Psia
Capacidad Gas:	27.0 MMSCFD
Capacidad líquido:	4,200 BPD

De prueba:

Código:	SH - 2
Tipo:	Horizontal - dos fases

Dimensiones:	20" OD x 10'0"
Presión trabajo:	500 Psi
Presión operación:	250 Psia
Capacidad Gas:	7.7 MMSCFD
Capacidad líquida:	1,400 BPD

6.2 De baja presión

Para esta etapa final del proceso se contará con dos unidades de tres fases, operadas a 85 Psia (análisis PVT-Caigua) con las siguientes especificaciones:

De grupo:

Código:	
Tipo:	SH-3
Dimensiones:	Horizontal - Tres fases
Presión Trabajo:	36" OD x 10' 00"
Presión operación:	125 Psia
Capacidad de gas:	85 Psia
Capacidad líquido	8,5 MMSCFD
Petróleo:	3.900 BPD
Agua:	1.000 BPD

De prueba:

Código:	SH-4
Tipo:	Horizontal - tres fases
Dimensiones:	20" OD x 10' 0"
Presión trabajo:	125 Psi
Presión operación:	85 Psia
Capacidad Gas:	3.6 MMSCFD
Capacidad líquido:	
Petróleo:	1,000 BPD
Agua:	500 BPD

7.0 ALMACENAJE

Se tiene proyectado instalar, a manera de pulmón, un tanque abulonado de 3 secciones con capacidad de 5,000 Bbls., provisto de una conexión de 4" en la entrada y 6" en la descarga. Contará con un dispositivo indicador y de control de nivel, una cámara de espuma y una línea de eliminación de vapores dotada de arresta-llamas. En el aspecto de seguridad, se preve la construcción de un muro corta-fuego.

8.0 TRANSFERENCIA DE PETROLEO

El sistema está constituido por una línea de 4.5" OD, con una distancia aproximada de 15,000 mts. desde la batería hasta su empalme con el oleoducto Camiri - Yacuiba (OCY) permitiendo el desplazamiento de 3,000 BPD a una presión en la salida de las bombas de 1,200 Psi (Información GID). Para estas condiciones se han seleccionado 2 unidades de bombeo reciprocantes de las siguientes especificaciones:

MOTOR:

Waukesha a gas natural, 6 cilindros en línea
Modelo: F - 1197GI
BHP: 178 a 1400 rpm.
Size: 6 1/4" x 6 1/2"
Relación compresión: 9 : 1

BOMBA:

Gadner Denver
Modelo: TA - 5 Triplex
Stroke: 5"
Desplaz. máx.: 4900 BPD a 370 rpm
RPM máx.: 370
Presión máx.: 4000 Psi
HP: 150

El petróleo procesado será entregado a GID a la salida de las bombas después de su cuantificación a través de un medidor de orificio.

9.0 FACILIDADES EN LA BATERIA

Se dispondrá de las siguientes facilidades:

Caseta oficina y Radio.- Estará construida sobre un área total de 270 pies² y contará con dos reparticiones: la destinada a oficina y equipos de radio, y el baño con todos sus elementos sanitarios.

Tanque de agua.- Con capacidad de almacenamiento de 1,000 Bbls., suplirá por una parte, en forma gravitacional, los requerimientos domésticos y de limpieza; y por otra, alimentará el sistema de hidrantes y la cámara de espuma del tanque de petróleo.

Energía eléctrica.- Se utilizará en forma provisoria 2 generadores de 5 KW para posibilitar el funcionamiento de los equipos de radio. Posteriormente y en forma

paralela al montaje de la Planta de Gas, se instalará el sistema de iluminación, tal de aprovechar la energía eléctrica proveniente de ella; se prescindirá de los equipos de radio de la batería, para utilizar los que sean instalados en la planta; asimismo, se centralizarán las oficinas y se hará uso de todas las facilidades que pueda proporcionar la planta de gas.

10.0 SISTEMA DE SEGURIDAD

Se tiene prevista la instalación de un sistema de protección contra descargas eléctricas (puesta a tierra); su dimensionamiento e instalación se solicitará sea encarado por el DPSI; asimismo, la dotación de extinguidores (30 y 150 lbs.) en número y ubicación convenientes.

La red de distribución de agua contra incendios contará con una motobomba Hale, Modelo 40FC-F 250, 250 GPM (recomendación DPSI) accionada por un motor a gas natural Ford, 99 HP a 2,000 rpm e hidrantes adecuadamente ubicados.

En el tanque de almacenamiento de crudo se instalará una cámara de espuma (tipo MSC-33A) dimensionada de acuerdo a normas.

Para fines de protección se construirá a su alrededor un muro corta fuego, de manera de disponer de un "estanque" con capacidad de 6,000 Bbls.

11.0 OPERACION Y SISTEMAS DE CONTROL

Los pozos productores concurrentes al colector, serán agrupados en alta o baja presión de acuerdo a sus condiciones de flujo. La versatilidad de la instalación en el colector permitirá cambiar a un pozo indistintamente de grupo durante su vida productiva.

Los hidrocarburos de alta presión, serán procesados en una primera etapa a 250 Psia de presión en separadores horizontales bi-fásicos. La fase gasífera, luego de su medición correspondiente con los elementos FE-1 y FE-2, se utilizará parcialmente como gas combustible y el saldo será quemada hasta efectivizar su aprovechamiento. La fase líquida sufre una segunda etapa de procesamiento en unidades de 3 fases operadas a 85 Psia donde se separan gas, petróleo y agua. Esta última, luego de su medición con elementos de desplazamiento positivo (Flocos), es drenada a la fosa a través del sistema de drenajes abiertos. El gas, luego de su cuantificación (FE - 3 y FE - 4), es utilizado como llama piloto en la fosa y quemador. El petróleo será descargado al tanque de almacenamiento y contabilizado únicamente en el separador de prueba mediante un medidor Floco 2" - 500 Psi, Cap. max 2000 BPD, que posibilitará un adecuado control del comportamiento de los pozos.

El nivel de trabajo en el tanque de almacenamiento será establecido y gobernado

desde el tablero de control instalado en la caseta de bombas y las correcciones respectivas serán posibles por la acción de un transmisor que envía la señal a una válvula de control instalada en el by-pass de la línea de descarga y el tanque (plano LMS-04). Se contará con 2 niveles de paro y alarma: un alto nivel en el tanque accionará las válvulas "Bettis" instaladas en la entrada de los separadores cortando la entrada de fluidos; y un bajo nivel ocasionará el paro de la bomba de transferencia.

Se tendrá instalado un medidor de orificio en la salida de las bombas que posibilitará la computación del petróleo transferido a GID, en base a la lectura de un registrador de presión diferencial y/o integrador ubicados en el panel principal de control. Este panel dispondrá asimismo de un registro de la presión de la línea, y paros de la bomba por alta temperatura del motor, baja presión de aceite, vibración. Bajo flujo, baja presión en la línea y sobre velocidad. Cada paro, que accionará el sistema de alarma, dispondrá de un visor - indicador correspondiente.

12. PROGRAMACION DE TRABAJO

La planificación básica de los trabajos, está consignada tentativamente en el cronograma que se adjunta en el anexo. La parte crítica de la programación es la relativa a la fabricación, embarque y recepción de los materiales y equipo. Para la fase del montaje e instalación de la batería, se ha elaborado una programación detallada (PERT) cuya ejecución demandará un tiempo efectivo de 40 días.

La planificación tentativa de la obra puede ser sintetizada como:

12.1 Obras Civiles *

Primera fase.- Construcción planchadas batería y quemador, fosa de drenaje.

Fecha iniciación: Abr. 15, 1975
Fecha conclusión: Abr. 30, 1975
Tiempo efectivo: 15 días

Segunda fase.- Referente a fundaciones del equipo mayor:

Fecha iniciación: May. 16, 1975
Fecha conclusión: Jun. 30, 1975
Tiempo efectivo: 45 días

Tercera Fase.- Trabajos misceláneos paralelos al montaje de la batería (caseta oficina, canaletas drenaje, aceras, ripiado, etc.).

Fecha iniciación: Agos. 1º, 1975
Fecha conclusión: Agos. 30, 1975
Tiempo efectivo: 30 días

* Información DPIC.

12.2 Sistema de recolección

La instalación de las líneas de recolección se han planificado en el mismo orden y secuencia que las intervenciones y perforaciones programadas para el campo. Por esta razón, durante la gestión 1975 se cubrirá el 75% de la red total de recolección.

Primera fase: Pozos LMS-3, LMS-4 y LMS-8

Fecha iniciación: Jul. 1º, 1975
Fecha conclusión: Agos. 14, 1975
Tiempo efectivo: 45 días
Long. aprox. líneas: 6,400 m.
Nº grupos soldar: 2

Segunda fase: Pozos LMS-UB-F y UB-E

Fecha iniciación: Sept. 1º, 1975
Fecha conclusión: Oct. 15, 1975
Tiempo efectivo: 45 días
Longitud aprox. línea: 10,600 m.
Nº Grupos soldar: 4

Tercera fase: Pozos LMS UB-C y UB-G

Fecha ejecución: año 1976
Tiempo efectivo: 45 días
Longitud aprox. línea: 6,400
Nº Grupos soldar: 2

12.3 Instalación y Montaje

La planificación detallada de los trabajos puede ser visualizada en la programación incluida en el anexo.

12.4 Puesta en marcha

Los ajustes y puesta en marcha de la batería serán responsabilidad del personal de operación (ver organigrama).

Fecha iniciación: Agos. 31, 1975
Fecha finalización: Sep. 4, 1975
Tiempo efectivo: 5 días

13. PERSONAL

13.1 De construcción

Los trabajos del sistema de recolección como los del montaje e instalación de la batería, se proponen adjudicar a compañías especializadas de servicio. La responsabilidad y conducción de las mismas, estará a cargo del Ingeniero Encargado del Proyecto con la directa supervisión de la Jefatura del Departamento (ver anexo).

13.2 De operación

Se trabajará, en principio, de acuerdo al organigrama expuesto en el anexo. Posteriormente y una vez puesta en funcionamiento la planta de proceso de gas, se utilizarán los servicios de un mismo personal para el manejo de ambas instalaciones.

14.0 COSTOS

Para un mejor control de la parte contable se solicitará al Departamento de Contabilidad la apertura de las cuentas respectivas.

Los costos estimativos pueden ser resumidos en:

14.1 Obras civiles*

A. Planchada batería, quemador & fosa drenaje	\$b.	215,000
B. Fundaciones equipo mayor	"	200,000
C. Misceláneos: caseta, aceras, ripiado, etc.	"	200,000
TOTAL	\$b.	615,000

14.2 Sistema de recolección

A. Materiales:

cañ. 3" 90,000'	\$b.	5,600,000
válvulas	"	240,000
conexiones	"	160,000

TOTAL \$b. 6,000,000

B. Instalación

\$b. 1,200,000

* Información del DPIC.

14.3 Batería

A. Materiales :

Colectores	\$b.	300,000
Separadores y accesorios (6 unidades)	"	800,000
Tanque almacenaje, 5000 Bbls.	"	600,000
Bombas y conexiones (2 unidades)	"	1'600,000
Instrumentación y automatización	"	800,000
Misceláneos:		
a. Material tubular	"	200,000
b. Válvulas	"	200,000
c. Bomba c/incendios	"	100,000
d. Conexiones	"	100,000
e. Material consumo - (pintura, cinta revesti- miento, etc.)	"	100,000
f. Cerco protección	"	100,000

TOTAL \$b. 4'900,000

B. Instalación y Montaje \$b. 820,000

GRAN TOTAL \$b. 13'535,000

\$US' 676,750

I. CONCLUSIONES

1. El presente trabajo tiene como base el estudio del DPIP N° 1-202 que propone la explotación del campo reacondicionando, en una primera fase, los pozos LMS-3, LMS-4 y LMS-8; y luego, la perforación de 4 pozos adicionales (UB-F, UB-F, UB-G y UB-C).
2. En el aspecto de pozos se propone, para los arreglos finales, 4 terminaciones dobles convencionales y 3 terminaciones selectivas: una doble (LMS-8) y dos sencillas (LMS-3 y LMS-4). Esto permitirá la explotación conjunta de niveles por una misma línea, utilizando restricciones de fondo para evitar problemas de interferencia, y por otra parte minimizará los costos y facilitará las reparaciones (ver anexo).
3. Lo anterior posibilitará contar con 12 líneas productoras: 10 petrolíferas correspondientes a los niveles SRS-B y SRS-D y 2 gasíferas del nivel SRS-C en reserva).

4. La explotación de los pozos gasíferos con propósitos de comercialización, está programada en una segunda fase cuando se efectivice la instalación de la planta de gas.
5. Para fines de diseño se ha tenido en cuenta la máxima producción previsible de petróleo estimada en 2,300 BPD y de gas asociado como igual a 1.84 MMPCD; además de considerar la posibilidad de perforaciones adicionales de avanzada en la estructura.
6. La batería de producción será instalada en un área contigua y al NE del pozo LMS-4, con una superficie total de 2,100 m² y cuyas coordenadas aproximadas son: X = 440,770; Y = 7,642,320; Z = 747 msnm.
7. El menor movimiento de tierras y la mejor equidistancia a los pozos productores fueron factores decisivos en la elección con relación a la otra alternativa de ubicación considerada (100 m al sur del Campamento original). Sin embargo, lo fundamental radica en los resultados del levantamiento geológico efectuado que establece que la zona elegida muestra mejores condiciones de estabilidad.
8. Por las mismas razones anotadas la planchada situada a continuación y al SE del pozo LMS-4, servirá por su mayor área disponible, para instalar la planta de proceso de gas del campo.
9. Con fines de previsión se está considerando un área de separación entre Batería y planta que posibilite cualquier trabajo de intervención en el pozo LMS-4, aunque en ese caso deberán ser tomadas las máximas precauciones.
10. La primera fase de las obras civiles se refiere a la construcción de las planchadas para tanques y separadores, bombas, quemador y fosa de drenaje. El quemador estará ubicado a 180 m al SO de la batería y la fosa a 250 m y orientada al SE de la instalación.
11. Las fundaciones para el equipo mayor serán diseñadas, a solicitud nuestra, por el DPIC, una vez se dispongan de las dimensiones precisas de los equipos y su ejecución será también de su responsabilidad. La tercera fase de los trabajos civiles comprende las obras misceláneas tales como: caseta oficina, radio, aceras, ripiado con grava seleccionada ($\psi < 1 \frac{1}{2}$ "), canaletas drenaje, etc. a ser ejecutadas en forma paralela al montaje de la batería.
12. El sistema de recolección utilizará cañería 3.5" OD para soldar API-5L, grado X-35, espesor 0.216" y será integralmente enterrado con fines de protección y seguridad. Cada línea dispondrá de una válvula de seguridad automática operada por baja presión.

13. Para la instalación de las líneas, se aprovechará la senda que será construída para el oleoducto (obra dependiente GID) y que atraviesa el campo de norte a sur.
14. Los trabajos serán efectuados a contrato y su planificación está acorde con las intervenciones y perforaciones programadas en el Campo. Se iniciarán, en una primera fase, con el tendido de las líneas LMS-3, LMS-4 y LMS-8 (Jul, 1 - Ago, 14 - 1975). Luego de la de los pozos UB-F y UB-E entre fechas Sep, 1 - Oct, - 15. Esto cubrirá un 75% de la red total de recolección estando prevista su conclusión en la gestión 1976.
15. Se dispondrá de un colector con válvulas 3" ASA 900, instalado en la batería con capacidad de 12 líneas y provisto de 2 cabezales de 4" para producción de alta y baja presión, y un cabezal de 3" para prueba. Lo anterior posibilitará cambiar indistintamente de grupo a un pozo durante su vida productiva.
16. Asumiendo condiciones similares que para el Campo Caigua, en base al análisis PVT, se han establecido como presiones de separación para los niveles petrolíferos, 250 psia para la primera etapa de 85 psia para la segunda.
17. El gas - de alta y baja presión - luego de su cuantificación será quemado en una primera fase de la explotación del campo. Posteriormente será enviado a la planta para su compresión y procesamiento.
18. El gas de alta presión (250 psia) servirá para cubrir los requerimientos de gas combustible e instrumentación; para el efecto se ha previsto la utilización de un depurador operado a 100 psia. El gas de la segunda etapa será usado para llama piloto en el quemador y fosa.
19. Los separadores de alta presión serán horizontales bi-fásicos, mientras que los de baja serán trifásicos. Esto posibilitará la cuantificación del agua, del grupo y prueba, con elementos de medición de desplazamiento positivo, para ser drenada por una red concurrente a la fosa.
20. Únicamente el separador de prueba de baja presión estará dotado de un elemento de medición de crudo (Floco), para permitir un adecuado control de los pozos productores.
21. De acuerdo a datos proporcionados por GID, se ha seleccionado 2 unidades de bombeo recíprocas Triplex Gardner - Denver modelo TA-6 con motores Waukesha F-107GU a gas natural de 178 BHP a 1400 rpm.

22. Las entregas de petróleo a GID se efectuarán a la salida de las bombas, luego de su cuantificación con un medidor de orificio y en base a la lectura de un integrador de presión diferencial. Un sistema automático de control de nivel en el tanque de alimentos hará posible el desplazamiento de un volumen igual a la producción total de la batería; esto elimina la necesidad de efectuar un control de volumen de petróleo en los separadores.
23. Se dispondrá de un tanque de almacenaje con capacidad de 5.000 Bbls. provisto de indicador de nivel, cámara de espuma y línea de eliminación de vapores con arresta-llamas.
24. El nivel de trabajo del tanque será gobernado y establecido desde un panel de control. Un elemento transmisor efectivizará las correcciones respectivas accionando una válvula de control instalada en la línea de by-pass entre bombas y tanque.
25. Un sistema de alarma por alto y bajo nivel en el tanque será instalado. Un alto nivel accionarán las válvulas "Bettis" instaladas en la entrada de los separadores cortando el flujo a los mismos; mientras que un bajo nivel significará el paro de la unidad de bombeo.
26. El panel principal de control dispondrá de un sistema de paros de la unidad bombeo por alta temperatura del motor, baja presión de aceite, baja presión de línea, bajo flujo, sobre velocidad y vibración, que activaran el sistema de alarma y accionaran el correspondiente visor indicador de paro. Asimismo se contará con un registrador de la presión de línea y un "timer" que desactivará el sistema de paros.
27. En el aspecto seguridad se prevé la construcción de un muro corta-fuegos de modo de disponer de un "estanque" con capacidad de 6000 Bbls. Se contará con un sistema de líneas de agua contra incendios, alimentado con una moto bomba con capacidad de 250 GPM e hidrantes convenientemente ubicados.
28. Dentro de las facilidades se construirá una caseta para oficinas y equipos de radio. La energía eléctrica será suministrada, en principio, por 2 generadores de 5 KW, posteriormente, con la planta de gas en funcionamiento, se dotará a la batería de iluminación tal de aprovechar su energía eléctrica y todas las facilidades que suministren sus instalaciones.
29. El montaje e instalación de la batería será adjudicada a una Compañía de servicios especializada. De acuerdo a la programación elaborada la obra demandará un tiempo efectivo de 40 días (ver anexo). Esta fase deberá iniciarse en fecha Julio 21 y concluir en Agosto 30, 1975, de manera que su funcionamiento esta previsto para los primeros días de septiembre.

30. La programación a la que se sujetará la construcción de la obra está consignada en el anexo. La senda crítica de la planificación es la referente a la colocación de pedidos, fabricación, embarque y llegada de materiales.
31. Los trabajos se iniciarán en abril y finalizarán en octubre, 75. Esto representa un 90% de la obra, quedando un 10% referente a líneas de recolección (pozos UB-E y UB-C) programados para el año 1976.
32. El control y dirección técnica de la obra serán de responsabilidad del Ing. Encargado del Proyecto con la directa supervisión de la Jefatura del Departamento. De acuerdo al organigrama básico de construcción, se requerirán dentro el personal propio, 1 encargado de materiales, 1 encargado del control de personal y el aporte de instrumentistas del DPPR.
33. En la fase operativa se trabajará en base al organigrama incluido en el anexo, que se acomoda a la estructura actual del Departamento. Posteriormente, y una vez materializada la Planta de Proceso, podrán atenderse ambas instalaciones con un mismo personal.
34. El proyecto representa una inversión aproximada de \$b. 13'535,000 (\$us. 676,750).

ANEXO A - 1

DIMENSIONAMIENTO LINEAS GAS A QUEMADOR

1. ECUACIONES BASICAS.- Para condiciones de operación usamos Weymouth modificada:

$$P_1^2 - P_2^2 = 15.301 \times 10^{-8} Q_g^2 L \quad (1)$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 64.95 \times 10^{-8} Q_g^2 L \quad (2)$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 540.24 \times 10^{-8} Q_g^2 L \quad (3)$$

Ecc (1) para ID = 4.026"; ecc (2) para ID = 3.068" e ecc (3) para ID = 2.067"

P_1 = Presión aguas arriba, psia

P_2 = Presión aguas abajo, psia.

Q_g = Caudal gas, MPCD

L = Longitud línea, pies

2. DE SEPARADORES 500 # WP

DATOS

$$P_2 = 14 \text{ psi}$$

$$Q_s = 2.000 \text{ MPCD}$$

$$L = 600 \text{ pies}$$

Aplicando ecc (2) y sustituyendo valores:

$$P_1 = 42 \text{ psia} = \underline{28 \text{ psig}}$$

Cañ. seleccionada: 3.5" OD, API-5L, grado X-35, $e=0.216"$

3. SEPARADORES 125 # WP

DATOS

$$P_2 = \underline{14 \text{ Psi}}$$

$$Q = 1,000 \text{ MPCD}$$

$$L = 600 \text{ pies}$$

Aplicando la ecc (3) y efectuando operaciones:

$$P_1 = 59 \text{ psia} = \underline{45 \text{ psig}}$$

Cañ. seleccionada: 2.375" OD, API-5L, grado X-35, $e=0.154"$

ANEXO A - 2

PROPIEDADES FISICAS GAS CAMPO LOS MONOS

ARENISCA SRS - D

Componente	Mol. %	Gravedad Especifica	Poder Calorifico
		Mol. % x SG 1	Mol. % x H 1
N ₂	-	-	-
CO ₂	-	-	-
C ₁	92.85	0.5144	937.785
C ₂	4.17	0.0433	73.767
C ₃	1.98	0.0301	49.837
iC ₄	0.29	0.0058	2.434
nC ₄	0.49	0.0098	15.984
iC ₅	0.14	0.0035	5.600
nC ₅	0.06	0.0015	2.405
C ₆ +	0.02	0.006	0.951
TOTAL	100.0	0.6090	1095.763

$$SG = 0.609$$

$$\text{Poder Calorifico} = 1095.76 \text{ BTU/cu.ft.}$$

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

T A B L A N° 1

SISTEMA DE RECOLECCION

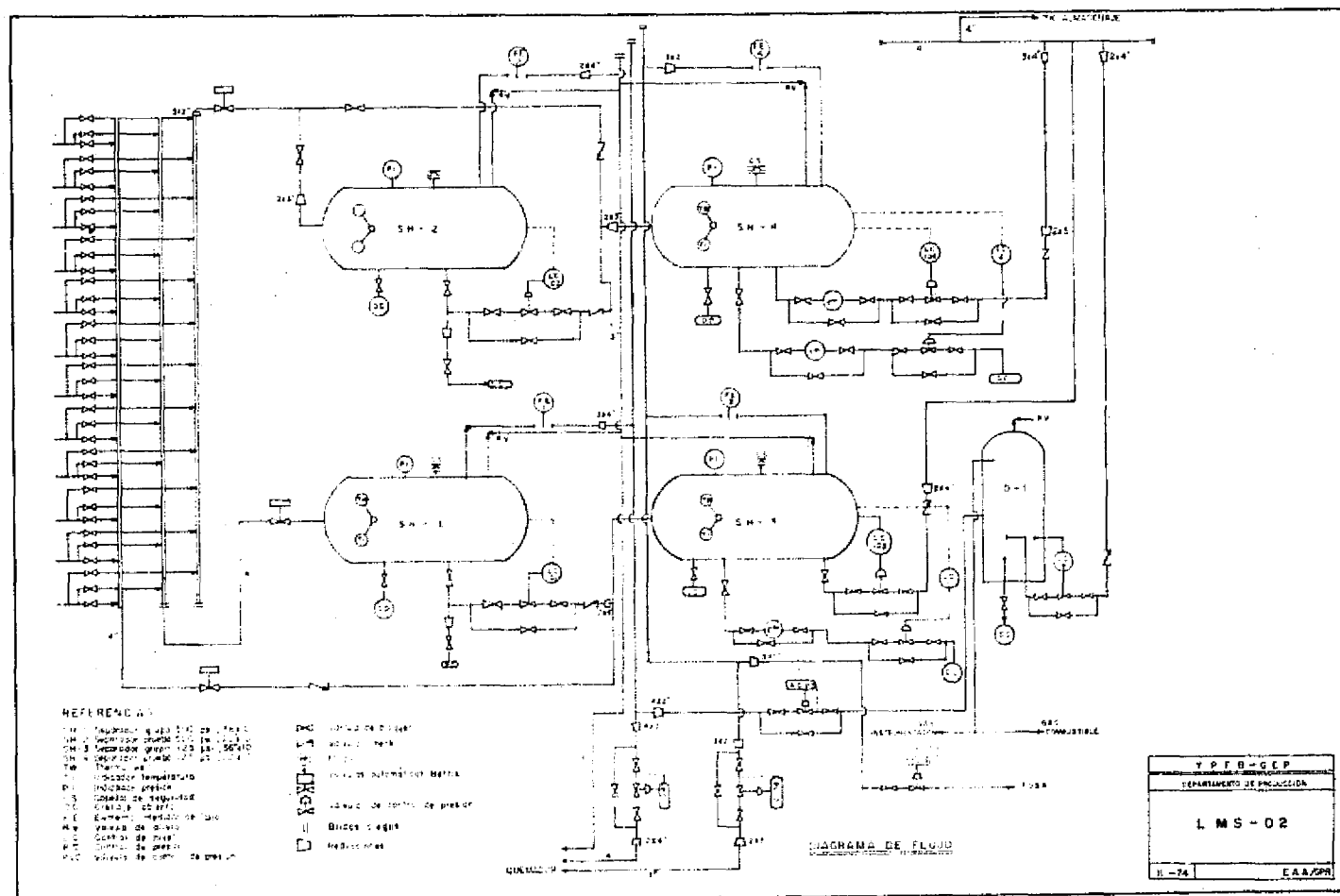
DISTANCIA DE POZOS A BATERIA

POZO	Nº LINEAS	DISTANCIA APROX.(m)	TOTAL	OBSERVACIONES
LMS-3	1	500	550	Terminación selectiva pet. y gas
LMS-4	1	50	50	Terminación selectiva petrolífe- ra
LMS-8	2	2,900	5,800	Terminación selectiva pet. y gas
UB - F	2	3,200	6,400	Petrolífero
UB-E	2	2,100	4,200	Petrolífero
UB-C	2	1,900	3,800	Petrolífero
UB-G	2	900	1,800	Pet. y Gas
TOTAL	12		22,600	

Proyecto de una batería en Los Monos

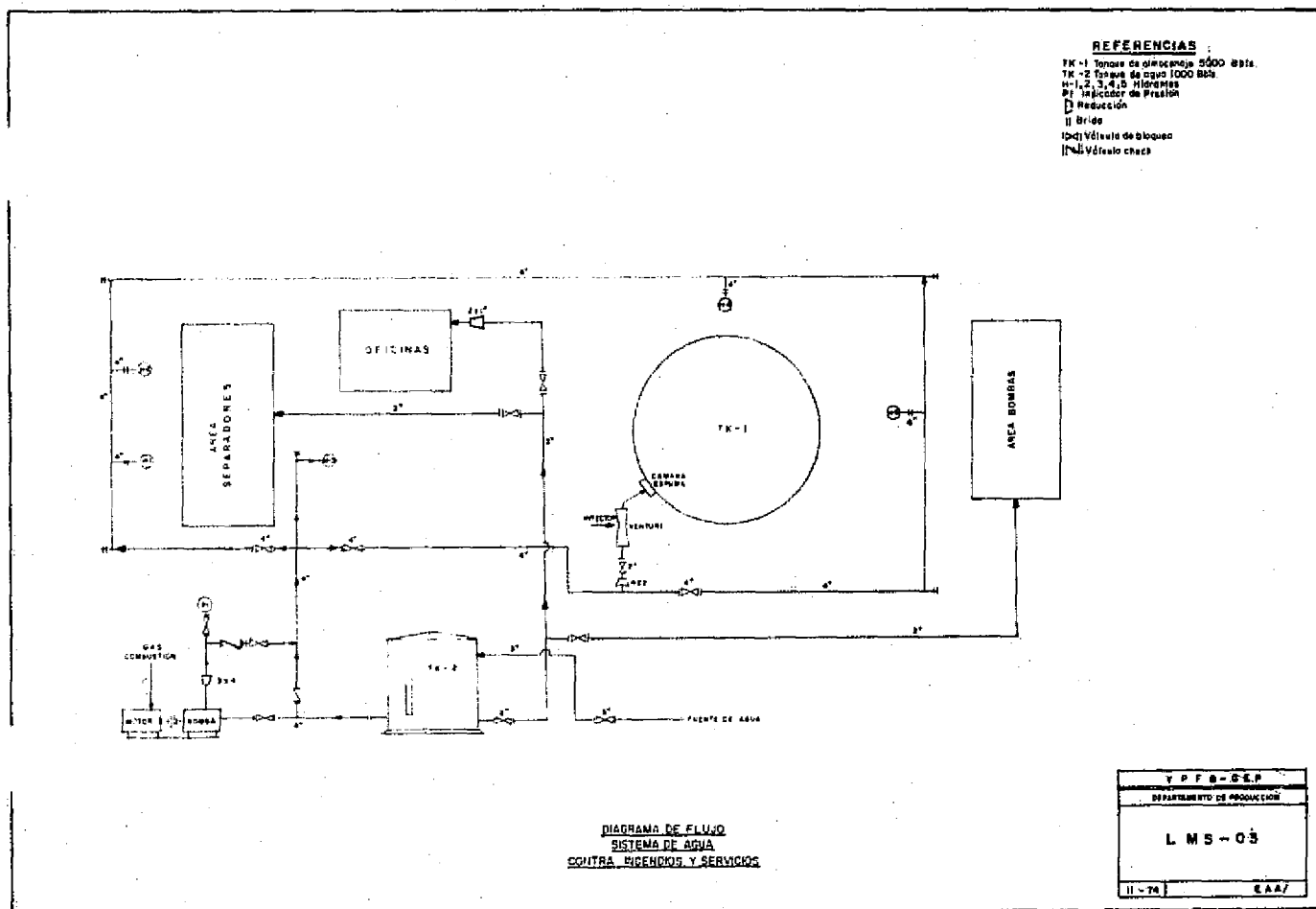
BATERIA LOS MONOS CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION

ACTIVIDAD	MES	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEP	OCT	1976	REPARTICION RESPONSABLE
OBRAS CIVILES - 1ª FASE Construcción planchados, Bateria y quemador, fosa drenaje y senda líneas											DPIC
OBRAS CIVILES - 2ª FASE fundaciones equipo mayor											DPIC
OBRAS CIVILES - 3ª FASE Miscelaneas, casetas, ripiado, canchales y drenajes etc.											DPIC
SISTEMA RECOLECCION Línea Pozos LMS-3, LMS-14, LMS-8, Ub-F y Ub-G											DPPR (Serv. contratad.)
LINEAS POZOS UB.-E & G											
EQUIPO & MATERIALES Fabricación, embarque & traslado a LMS											DPPR DEAL DPTT
INSTALACION & MONTAJE BATERIA											DPPR (Serv. contratad.)
PUESTA EN MARCHA BATERIA											DPPR
SUPERVISION GENERAL											DPPR



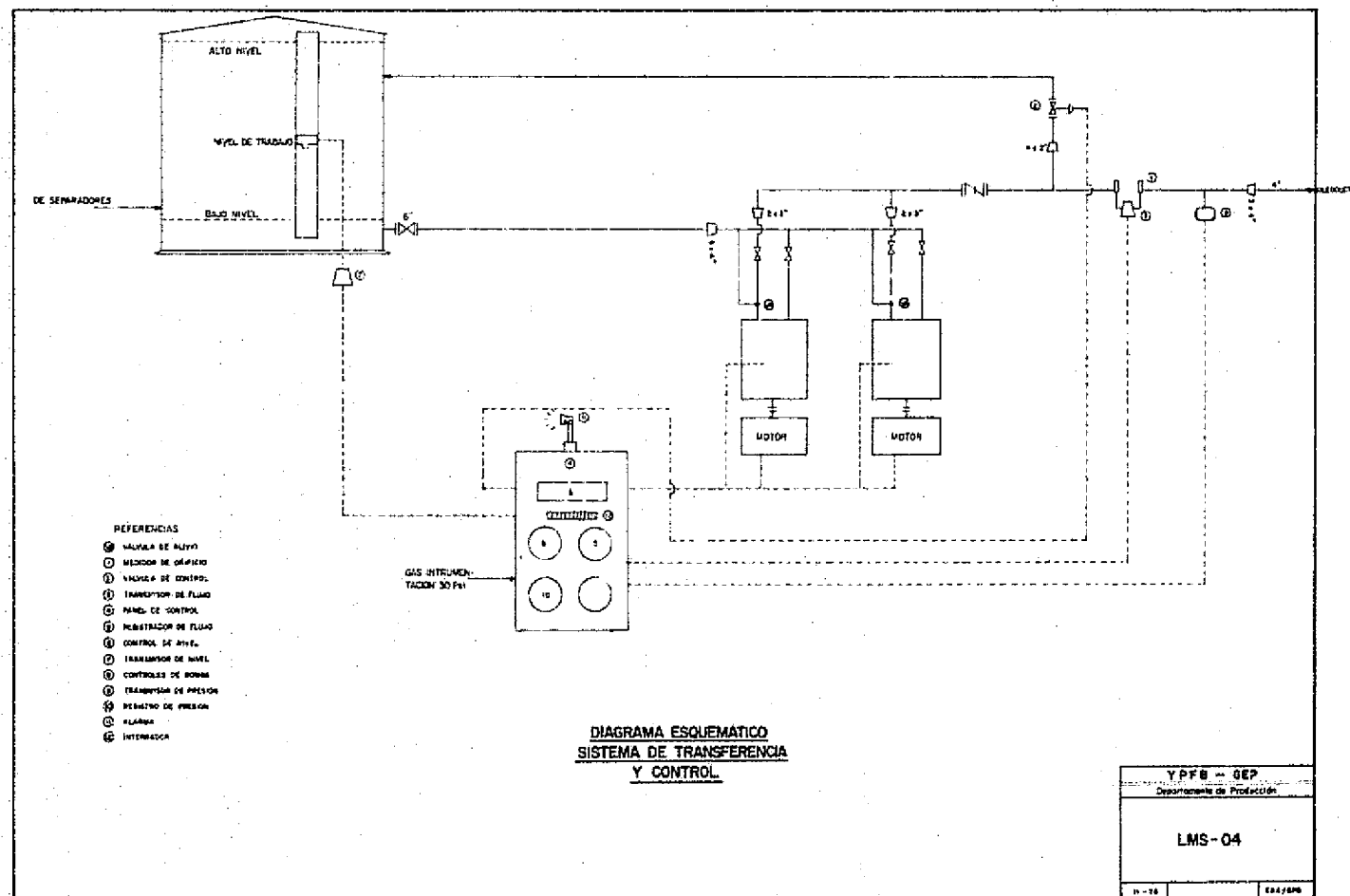
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

75

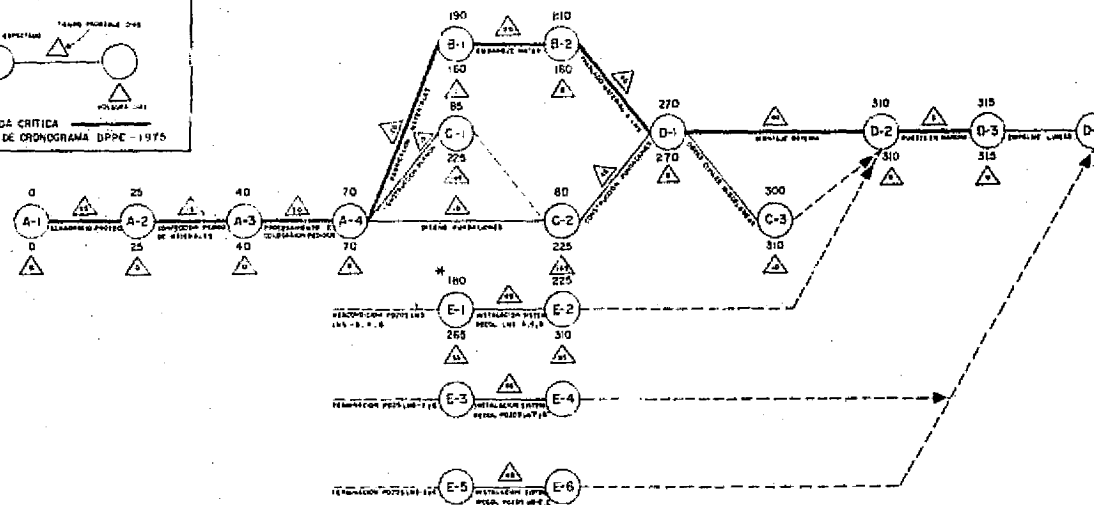
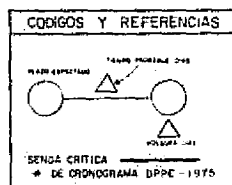


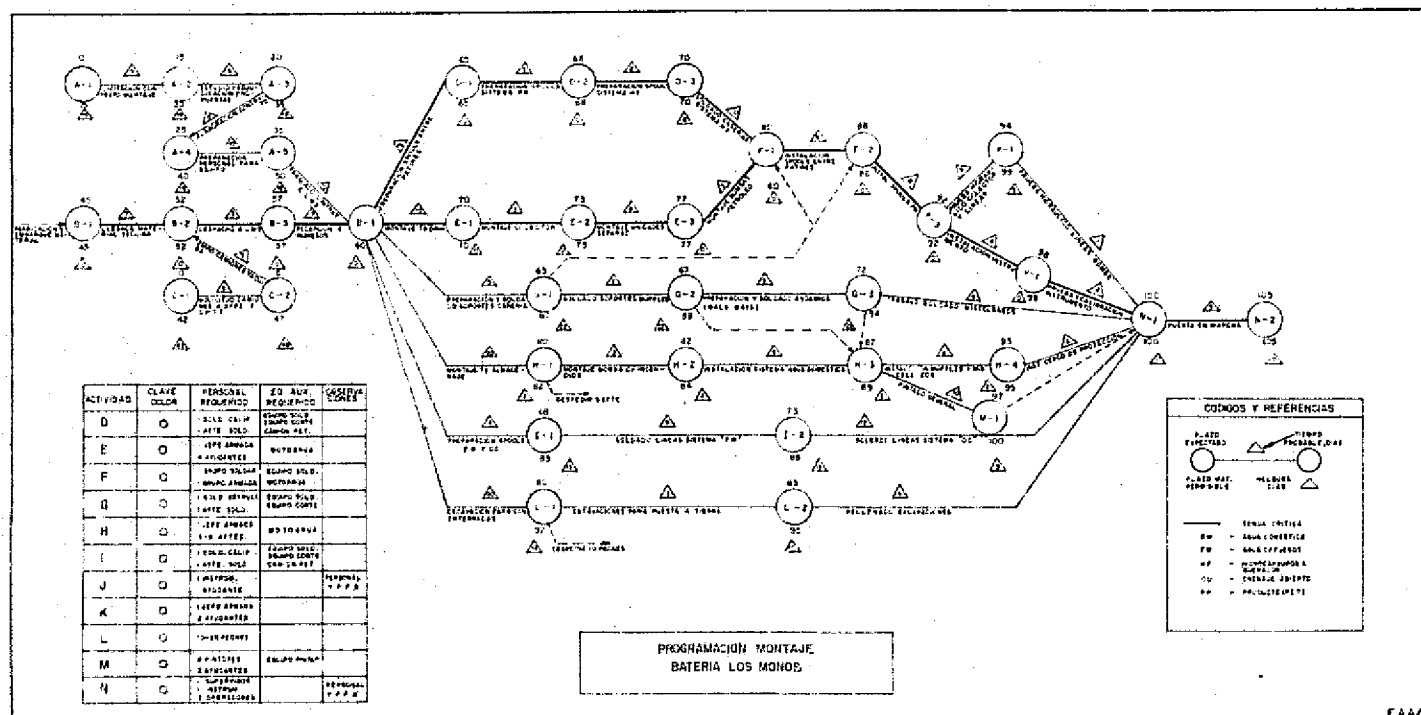
Proyecto de una batería en Los Monos

81



PROGRAMACION BASICA
CONSTRUCCION BATERIA PRODUCCION
CAMPO LOS MONOS





ESTUDIO GEOLOGICO DE LA REGION ULLA ULLA - CHARAZANI*

Heberto E. Pérez G. **

RESUMEN

La región bajo estudio, se halla situada en la parte noroeste de Bolivia, y correspondiente a la Cordillera de Apolobamba y parte Norte del Altiplano.

Los sedimentos carboníferos, pérmicos, cretácicos y las rocas subvolcánicas terciarias, muestran facies bien establecidas en la zona andina. El estudio estratigráfico de esta región, confirma la existencia de una serie calcárea evaporativa, en sedimentos pérmicos.

Además, este artículo describe los primeros informes concernientes a depósitos de Uranio, en Charazani.

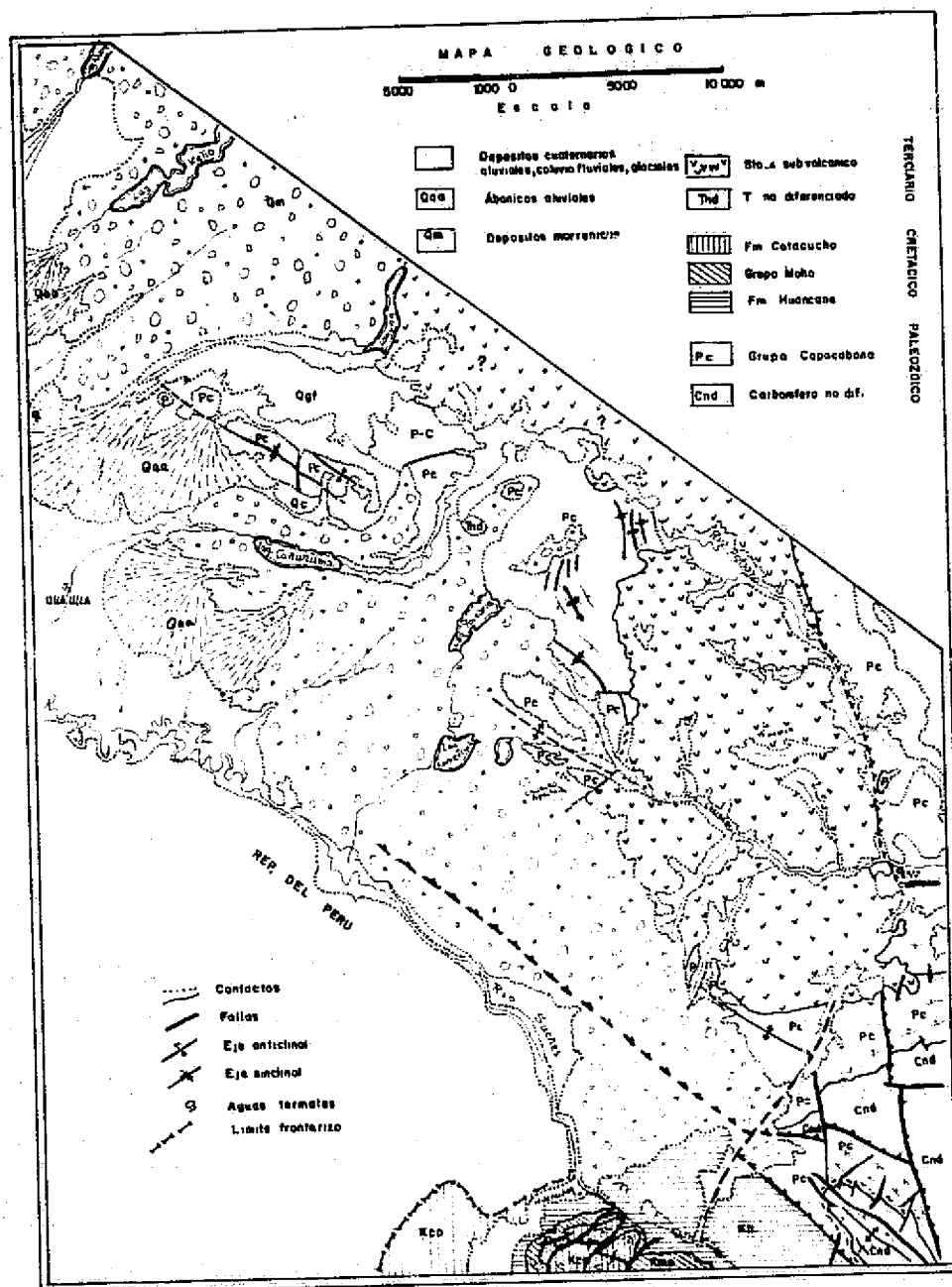
SUMMARY

The region under study, situated in the northwest part of Bolivia, correspond to the Apolobamba Cordillera and north part of the Altiplano.

The carboniferous, permian, cretaceous sediments and tertiaries subvolcanics rocks, they shows facies well known in the andean zone. The stratigraphic study of this region confirms the existence of a calcareous, evaporative series in the permian sediments.

In addition this paper describes the first reports concerning the Uranium deposits in Charazani.

* Trabajo presentado en la IV Convención Nacional de Geología - Santa Cruz, Bolivia.
** Servicio Geológico de Bolivia.



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

1. GENERALIDADES

1.1 Región Investigada

El área en cuestión se halla situada aproximadamente a unos 40 km al NE del Lago Titicaca, en la frontera con el Perú. Geográficamente está delimitada por las coordenadas siguientes:

al norte por el paralelo $14^{\circ} 48'$
al sud por el paralelo $15^{\circ} 18'$
al este por el meridiano $68^{\circ} 58'$
al oeste por la frontera Bolivia-Perú
al noreste por la línea A - B cuyas coordenadas son:

$14^{\circ} 48'$ lat. sud
 $69^{\circ} 21'$ long oeste

Políticamente pertenece al Departamento de La Paz y comprende parte de las siguientes provincias:

Bautista Saavedra, cap. Villa General Pérez (Charazani), con los cantones de Chakawaya, Jutaorko, Curva, Niñocorin, Khata y Calaya.

Franz Tamayo (Caupolicán) con su cantón Ulla Ulla.

Camacho con su cantón Huarachani.

La topografía es llana y ondulante en la zona de Ulla Ulla y abrupta en la zona de Charazani.

Alturas importantes son:

Cerro Chaulla Jaira	- 4.998 m.s.n.m.
Cerro Quimsa Kkota	- 4.870 "
Cerro Mojonani	- 4.719 "
Cerro Chojña Phujo	- 4.703 "
Cerro Chorcolaya	- 4.450 "
Cerro Condorinini	- 4.633 "
Cerro Komuni	- 4.634 "
Filo Jankho Khata	- 4.658 "

Ulla Ulla se encuentra aproximadamente a 4.300 m.sn.m y Charazani a 3.100 m.sn.m.

1.2 Clima

En la zona de estudio, no existen estaciones meteorológicas, razón por la cual, los datos que a continuación anotamos son comunicaciones verbales de los pobladores de la zona.

1.2.1 Meses de mayor precipitación pluvial: Enero, Febrero y Marzo; siendo meses nulos, en precipitación, Junio y Julio.

1.2.2 Temperaturas que fluctúan durante el año:

- de 12°C a 14°C, para Noviembre que es el mes más caluroso del año.

- de 0.3°C a 4,6°C para Junio que es el mes más frígido.

1.3 Hidrografía

Los ríos presentes en el área, pertenecen a dos cuencas hidrográficas:

La cuenca interna del Lago Titicaca, cuyo río principal constituye el río Suches, el mismo que nace en el lago homónimo.

El río Charazani con numerosos afluentes secundarios, pertenecen a la cuenca del río Beni.

1.4 Limitaciones

El estudio más completo de la zona, se ha visto limitado en parte, porque dicha zona presenta numerosos sectores de difícil accesibilidad; la cobertura cuaternaria cubre los afloramientos, dificulta en gran manera un trabajo óptimo, agravándose más el problema, por la no existencia de mapas topográficos.

1.5 Investigaciones anteriores

Fueron muy pocos los investigadores que realizaron estudios en la zona y sus inmediaciones; entre ellos tenemos:

Heim, A. (1947) - Realizó estudios sobre Glaciación cerca de Poto, localidad peruana situada al NW del área.

Newell, N.D. (1949) - Realizó investigaciones geológicas en los alrededores del Lago Titicaca y en la zona limítrofe del área de estudio.

Rivas, S. (1962) realizó trabajos geológicos al sud del área en cuestión.

2. GEOMORFOLOGIA

Los rasgos geomórficos de la región, están condicionados principalmente a los efectos de la glaciación, a los procesos de erosión y transporte de materiales, siendo el clima un factor muy importante en el proceso de degradación y meteorización.

- 2.1 El intemperismo mecánico ha tenido gran influencia en el desgaste y modelación del paisaje, produciendo la desintegración y descomposición de las rocas, por las fuertes variaciones de temperaturas diurnas y nocturnas, sometiendo a las rocas a esfuerzos y fatigas que las desintegran gradualmente.
- 2.2 La glaciación tuvo también gran influencia en la transformación y origen de ciertos rasgos geomórficos expresados en morrenas de diferente forma y magnitud, circos, valles en "U", valles colgantes, etc.
- 2.3 La acción del agua corriente superficial, originó terrazas, abanicos aluviales, planicies de inundación, etc. La acción del agua corriente subterránea, en zonas donde afloran materiales yesíferos, dio lugar a la formación de dolinas.
- 2.4 Entre los procesos endógenos se tiene:

El vulcanismo, que dio lugar a la presencia de rocas sub-volcánicas, que por su naturaleza ofrecen mayor resistencia a la erosión creando una forma de relieve abrupta y elevada.

El diastrófismo, en la construcción de montañas con deformación intensa ocasionando plegamientos y fallamientos.

2.5 Zonas Geomórficas

Con el objeto de presentar una visión más objetiva del relieve geomórfico, se ha diferenciado la región en dos zonas, de acuerdo al resultado del desarrollo estructural de la última orogénesis (plioleistocénica), de la litología como factor dominante y de la glaciación:

La presencia muy clara de un "Divortium aquarum" que además de constituir la divisoria de aguas entre la Cuenca del río Beni y la Cuenca Interna del Lago Titicaca, constituye también en gran parte el límite entre dos zonas geomórficas bien diferentes entre sí.

2.6 Zona A

Esta zona presenta topografía de formas suaves y onduladas, valles y cauces de ríos

poco profundos y hacia el W una planicie aluvial muy extensa. Aquí se han desarrollado depósitos morrénicos y abanicos aluviales de gran magnitud.

La planicie aluvial (alrededores de Ulla Ulla), está drenada por numerosos riachuelos meándricos, algunos de ellos, por efecto del material poco consolidado, se insumen para manar nuevamente pendiente abajo.

En ésta zona se identificaron diseños de drenaje desarrollados exclusivamente en terrenos aluviales y cuyos ríos forman parte de la Cuenca Interna, siendo el río Suches el afluente principal, el mismo que constituye el nivel de base local.

2.6.1 Diseño Sub paralelo

Este es el diseño general de la zona, cuyo desarrollo está influenciado por la pendiente suave del terreno, donde los ríos (todos afluentes del río Suches) son consecuentes.

En general presenta alta densidad de drenaje, porque los ríos atraviezan terrenos planos de material suelto y pobremente consolidados (gravas, arenas, limos y arcillas).

2.6.2 Diseño Meándrico

Que presenta el río Suches en su paso por la extensa llanura de Ulla Ulla, aquí se observan curvas sinuosas muy características de ríos maduros, con meandros cerrados y abiertos, lagunas en forma de herradura, que son restos de antiguos meandros y una serie de lechos secos entremezclados.

El río Suches que en su cause superior es Consecuente (fuera de la zona de estudio); en el área que nos ocupa se ha desarrollado en forma subsecuente, indicando un río ajustado a la estructura, puesto que su cause ha aprovechado una línea de falla (Falla Suches), la misma que ha tenido gran influencia en el cambio de su dirección original (Norte-Sud), a la dirección actual que es de NW-SE.

2.6.3 Diseño Anastomosado

Lo forman los ríos Nube, Cololo, Cañuhuma, Puyupuyo se caracterizan por su división en cursos de canales de intercomunicación, separados unos de otros por islas o barreras. Este diseño indica generalmente, ríos incapaces de transportar su carga, debido a un gran aporte en sus cabeceras y a la disminución en la gradiente del río, obligando a éste a cambiar su curso continuamente. Y ocurre allí, donde el río sale de una zona montañosa y penetra en la llanura. En ciertos casos puede confundirse con un diseño divagante o trenzado.

2.6.4 Diseño Dicotómico

Ocurre al igual que el Anastomosado, río que sale de las montañas y entra en una planicie o llanura, el río forma abanicos aluviales extensos, donde el curso del río originalmente un solo cause, por efecto de la inclinación o pendiente del terreno en forma cónica, se transforma en innumerables causes, en forma semi radial, cuyas aguas se insumen por efecto del material frueso, permeable y poco consolidado. Este diseño se puede observar en los abanicos aluviales al norte de Ulla Ulla.

2.7 Zona B

En ésta zona, la litología constituye un factor dominante en la evolución de las formas del relieve, que está caracterizado por presentar elevaciones y accidentes topográficos abruptos.

Está litológicamente integrado por rocas sub-volcánicas duras y rocas calcáreas relativamente duras.

En ésta zona, el río Charazani, constituye el nivel de base local. En general se observa un drenaje dendrítico bien integrado y homogéneo, cuyos ríos son tributarios del río Camata, afluente del río Beni, que al unirse con el río Mamoré, forma parte de la Cuenca del Amazonas.

El desarrollo de éste drenaje, manifiesta rocas de resistencia uniforme e implica una falta de control estructural, o áreas sedimentarias de bajo buzamiento y/o rocas ígneas macizas, lo cual fue comprobado en el terreno, identificando un complejo sedimentario - ígneo.

Esta zona, en general presenta densidad media a baja; diseños locales no se han observado. Una característica muy interesante, es que las cabeceras de sus ríos, tienen erosión retrógrada fuerte, lo cual ha dado lugar, en algunos casos, a la captura de ríos tributarios del río Suches; estos acontecimientos se han observado en la zona correspondiente al "Divortium aquarum".

Las características morfo - estructurales muestran un paisaje en estado juvenil.

2.8 Formas glaciales dominantes.

2.8.1 Morrenas

Algunas son extensas presentando un paisaje ondulante, un tipo de topografía con protuberancias y cuencas; con numerosos pantanos y lagos.

La mayoría de las morrenas consisten esencialmente de fragmentos de rocas (areniscas, cuarcitas, pizarras y lutitas) los clastos son angulosos a sub redondeados, cementados por una vasa areno - arcillosa.

En algunos casos tienen una expresión topográfica - morfológica muy típica y clara, donde se han podido efectuar diferenciaciones en algunos tipos de morrenas.

Los rasgos típicos de las morrenas, son las depresiones alargadas sin drenaje, lagos marmita, pequeños terraplenes de material no clasificado y formas arqueadas y alargadas.

2.8.2 Morrenas Terminales o Frontales

Son morrenas formadas en la parte exterior del glaciar y pueden ser de retroceso o también de avance. Las fluctuaciones producidas en el frente del glaciar forman un tipo de topografía llamada de prominencia y cuenca intercalada. Su formación depende de si el frente del glaciar se mantiene bastante tiempo en el mismo lugar.

Muchas morrenas terminales pueden clasificarse como morrenas de receso, a causa de su deposición atrás de otra morrena terminal; sin embargo, este término puede ser engañoso; porque algunas pueden indicar pausas del frente de retroceso y otras indican reavances. Solamente estudios detallados en el campo permitirían una diferenciación entre estos dos tipos de fluctuaciones.

Las morrenas terminales del valle de la laguna Cañuhuma y de algunas otras zonas adyacentes, usualmente son más notables debido principalmente a que están formadas de till pedregoso; en cambio aquellas formadas de till arcilloso tienen forma ancha y baja, de poca expresión morfológica, excepto la presencia de escasas lomadas, muy bien observadas en las morrenas terminales del valle del río Coloto y en los extensos depósitos morrénicos al norte del río Suches y Huarachani.

2.8.3 Morrenas Laterales

De gran desarrollo en la zona de estudio, especialmente en el sector NW; se han formado a lo largo y a ambos lados de un flaciar o corriente de hielo, dando lugar a verdaderas serranías, cuyas diferencias de altura entre el fondo del valle y la parte más alta de las morrenas laterales, fluctúa alrededor de los 200 a 250 mts.

Sus formas son elongadas con depresiones sin drenaje, algunas morrenas laterales pasan gradualmente a morrenas terminales, haciendo su delimitación bastante difícil.

2.8.4 Morrenas de fondo

Son depósitos de materiales acumulados debajo de la masa de hielo; compuesto de

till basal compacta de textura gruesa, depositadas durante la fusión final del hielo por ablación. Dicha morrena de fondo, es particularmente efectiva como agente de desgaste, la cual raspa con fuerza sus lechos, produciendo estrías muy importantes para la determinación de la dirección de avance del hielo.

2.9 Formas glacifluviales

Depósitos producidos por la acción combinada de agua y hielo. Este último al fundirse provoca torrentes más o menos temporales y transportan grandes cantidades de sedimentos y tan pronto como la velocidad disminuye, los deposita en conos de deyección y abanicos aluviales, se extienden y sueldan formando llanuras de suave inclinación. En las planicies de Ulla Ulla se formaron grandes abanicos con una inclinación muy suave, presentan cierto grado de clasificación y estratificación, cascajos de grano grueso cerca las cabeceras, pasando más lejos a arenas y finalmente a arcillas.

2.10 Formas Glaci-lacustres

Constituyen los depósitos y lagos de origen glacial, estos últimos muy numerosos en la zona. Se ha podido hacer una clasificación somera de los lagos.

Lago Cañuhuma, corresponde a un valle obstruido por barreras morrénicas, al igual que los lagos Cololo, Nube, Puyupuyo, Kello, Komerckocha y Yanacocha.

Marmitas formadas al fundirse masas de hielo estancadas, muy notables en las morrenas terminales del valle del río Cololo y Nube.

Depresiones debido al depósito irregular de materiales glaciares, en la zona al sud de Chuncho Apacheta y en las inmediaciones del río Puyupuyo.

Por último lagunas de cuencas rocosas, por lo general se encuentran en las cabeceras de los ríos.

2.11 Formas Coluvio-fluviales

Debido al intemperismo mecánico e influjo de la gravedad y el posterior arrastre de estos materiales sueltos por las aguas de deshielo, han originado formas cónicas y "bajadas".

2.12 Formas pseudo-karsticas

Resultado de la disolución de los terrenos yesíferos, con la consiguiente desviación de las aguas superficiales hacia causas subterráneas. El desarrollo de este paisaje ocurre sobre yesos Pérmicos del Anticlinal de Huancarani y en las inmediaciones de Pacotallani.

Este paisaje está caracterizado por la presencia de sumideros (sinkholes), que son depresiones con figura de embudo abierto hacia arriba, sus diámetros varían desde un metro hasta 5 metros, con una profundidad variable desde 0.5 hasta 3 metros.

3. ESTRATIGRAFIA

Los sedimentos que participan en la configuración del terreno pertenecen a los sistemas; Carbonífero, Pérmico, Cretácico, Stock Sub-volcánico Terciario (?) y Materiales Cuaternarios.

3.1 CUADRO ESTRATIGRAFICO

CENOZOICO

Cuaternario:	Depósitos aluviales
	Depósitos coluviales
	Depósitos glaciales
	Depósitos terrazas fluviales
Terciario (?) :	Rocas Sub-volcánicas

MESOZOICO

Cretácico:	Formación Cotacucho
	Grupo Moho
	Formación Huancané

PALEOZOICO

Pérmico :	Grupo Copacabana
Carbonífero:	No diferenciado

Afloramientos Devónicos se han ubicado en las inmediaciones de la Ecía, Huancarani y los alrededores del Cerro Chuallamani; son mayormente lutitas negras, brillosas, laminadas, se nota un clivaje bien marcado; hay alternancia con delgados bancos de areniscas de 1 a 3 cm de espesor. Constituyen afloramientos muy reducidos; y a la escala en que se realizó el mapeo geológico (1:50.000), no ha sido posible su demarcación.

3.2 SISTEMA CARBONIFERO

- 3.2.1 Rocas pertenecientes a este Sistema se encuentran distribuidas en todo el sector sur - oriental del área estudiada. Se ha asignado tentativamente una edad Carbonífera a los sedimentos que se hallan superpuestos por las capas marinas del Grupo Copacabana, tanto por guardar estrecha similitud con los sedimentos carboníferos presentes en áreas adyacentes, como también por su situación relativa en la columna estratigráfica.

- 3.2.2 Litológicamente están representados por sedimentos clásticos; hacia el tope hay areniscas de color marrón - amarillento a blanquecino, con frangulación de gruesa a mediana, dispuestas en bancos de 0.20 a 3 metros de espesor. Algunos bancos presentan estratificación entrecruzada.

Al anterior paquete continúa una intercalación de areniscas arcillosas y areniscas arcóscas de coloración marrón claro a violáceo; de granulación fina a media, dispuestas en bancos de 20 cm. a un mt. de espesor.

Intercalan lutitas de color gris ceniza, en capas delgadas de 10 a 30 cm.

La relación arena:lutita, en ésta parte de la secuencia Carbonífera, es de 9:1.

Por último, hacia la base se nota un incremento en la fracción arcillosa, donde se puede describir, lutitas de coloración rojiza a marrón rojiza, que intercalan areniscas hematíticas de color rojo oscuro a violáceo, de granulación fina. Dispuestas en bancos de 2 a 3 mts.; la relación arena: lutita es de 7:3

En resumen, hacia la base la secuencia del Carbonífero en esta parte de la zona de estudio, es hasta cierto punto predominantemente lutítica y de colores oscuros. Hacia el tope la secuencia se hace más arenosa y de colores claros.

- 3.2.3 El espesor observado es de 308 mts aproximadamente. No se observó su base, ni el espesor de la secuencia completa; hacia el tope la secuencia Carbonífera está limitada por la primera caliza fosilífera del Grupo Copacabana.
- 3.2.4 Dada la asociación litológica predominantemente de areniscas de grano grueso, de coloración rojiza a blanquecina, estratificación entrecruzada e intercalación de lutitas de color rojizo - marrón y grises, se puede asignar a ésta serie un ambiente de deposición transicional, más propiamente un ambiente parálico a sub - álcico.
- 3.2.5 Se han observado también ciertos afloramientos parecidos a tillitas, de colores violáceos a rojo chocolate al norte de la laguna Cañuhuma (Jankho khala), sobre el Cerro Wilamocko, iguales afloramientos han sido observados sobre Patilla Loma, entre la Comunidad de Okaria y el río Cañuhuma Jawira, lamentablemente debido a las condiciones atmosféricas pésimas, no se pudo efectuar un estudio más completo y tampoco ha sido posible mapearlo.

3.3 SISTEMA PERMICO

3.3.1 Grupo Copacabana

Derivatio nominis: Ver Cabrera La Rosa y Petersen, 1937 (según AHLFELD y BRANISA, 1960) bajo el nombre de Grupo Copacabana.

La región presenta un gran desarrollo de rocas calcáreas con abundante fauna fosilífera, factores que permitieron su reconocimiento y determinación como del Grupo Copacabana.

Los sedimentos de este Grupo se hallan ampliamente distribuidos en las serranías al norte de las lagunas Cañuhuma, Uckaria, Calaya, en toda la zona al norte del río Suches y en los alrededores de Charazani.

- 3.3.2 Presentan uniformidad tanto litológica como paleontológica; del tope a base comienzan con un conjunto predominantemente arenoso, pero con importante contenido calcáreo; se trata de areniscas calcáreas de grano fino a medio, de coloración pardo - amarillenta en superficie meteorizada y gris blanquecina en superficie fresca. Se intercalan en esta secuencia, capas de 20 a 40 cm de lutitas abigarradas donde predominan las de coloración gris clara a marrón, con algunos bancos fosilíferos.

A continuación sigue un conjunto de calizas arcillosas fosilíferas, de coloración gris clara, estratificada en bancos delgados (20 a 40 cm), donde se hallan intercalados paquetes de lutitas y margas abigarradas, con predominancia de la fracción arcillosa sobre la calcárea en un 60%.

- 3.3.3 Los principales fósiles hallados corresponden a los siguientes individuos:

Linoproductus sp.
Linoproductus cf. cora (d;Orb)
Hustedia cf. mormoni
Hustedia mormoni
Orbiculoidea sp.
Fusulinidae indet.
Neospirifer condor.

- 3.3.4 El espesor calculado no sobrepasa los 600 mts. La base de este Grupo, descansa en aparente concordancia sobre areniscas amarillentas de grano grueso y estratificación entrecruzada del Carbonífero. El tope está erosionado o cubierto por sedimentos glaciales.

- 3.3.5 Por su enorme contenido faunístico, característico de un ambiente marino, la edad de estos sedimentos han sido determinados como Pérmico Inferior (Piso Wolfcampiano), correspondiente al Grupo Copacabana.

De acuerdo a criterios litológicos, así como por el contenido paleontológico, se deduce que el ambiente de deposición fue marino de aguas claras y de temperatura moderada, dentro de la zona nerítica. Los horizontes de margas y sedimentos pelíticos interestratificados dentro de las calizas, sugieren que periódicamente se presentaban aguas llevando en suspensión material de grano fino.

3.4 SISTEMA CRETACICO

Sedimentos Cretácicos afloran en el sector sur del área de estudio, más propiamente en el sinclinal de Huarachani; en su mayor parte se trata de sedimentos clásticos continentales.

3.4.1 Formación Huancané

Derivatio nominis: Ver N.D. Newell, 1949

3.4.1.1 Rocas de esta formación, afloran en la parte basal del sinclinal de Huarachani y entre el río Suches y la falla homónima ubicada al norte de dicho río.

Esta secuencia se compone principalmente por una serie monótona de areniscas blanquecinas a rosadas en superficie meteorizada, y rosadas a rojizas en superficie fresca, de aspecto azucarado, granulación gruesa a mediana, dispuestas en bancos variables en espesor (0.5 a 5 mts.) Muestran estratificación entrecruzada y topográficamente constituyen zonas de relieve prominente. Con un espesor aproximado de 250 mts.

3.4.1.2 La base de la Formación Huancané, no aflora en la zona de estudio y su tope está representado por el contacto que se nota al encontrar las primeras lutitas del Moho Inferior, que descansa en forma concordante.

3.4.1.3 La facie arenosa predominantemente de color rojizo, induce a pensar en un ambiente continental sub - ácuo, posiblemente torrencial.

3.4.1.4 Por evidentes características litológicas similares, como también por su posición estratigráfica referente al Horizonte Ayavacas, del Grupo Moho (edad Cenomaniana), que se encuentra por encima de las Areniscas Huancané, la edad de éstas últimas han sido determinadas como Cretácico Inferior (Hauteriviano).

3.4.2. Grupo Moho

Derivatio nominis: Ver N.D. Newell, 1949.

En el área de estudio, en esta secuencia se han reconocido las tres unidades mencionadas por Newell en sus investigaciones geológicas en zonas circunvecinas alrededor del Lago Titicaca, las que a continuación se describen de base a tope:

3.4.2.1 La unidad inferior del Grupo Moho (Unidad "A" de Newell) en el sinclinal de Huarachani, está representada por un predominancia clara de lutitas de coloración rojiza muy friables y fisibles, donde se

intercalan en menor proporción con areniscas arcillosas rojizas a marrón oscuras, de granulación fina, dispuestas en bancos de 10 a 50 cm. Topográficamente muestra zonas de relieve negativo. El espesor aproximado es de 82 mts.

- 3.4.2.2 La segunda unidad (Unidad "B" de Newell) se encuentra descansando en forma concordante sobre la primera antes mencionada, se trata de un importante Horizonte Calcáreo, que Petersen y Cabrera La Rosa, llamaron Caliza Ayavacas, cuyo lugar tipo se halla cerca de la población peruana de Ayavacas (Depto. Puno-Perú) y en la zona de estudio, está representado por un delgado banco, de 2 mts. de espesor, de una caliza gris a gris ceniza, bastante compacta.

Topográficamente este Horizonte Calcáreo constituye un excelente estrato guía en el trabajo de campo.

- 3.4.2.3 Sobre la anterior unidad descrita, también en forma concordante, descansa una serie compuesta de lutitas abigarradas, lutitas margosas y margas arcillosas muy deleznales e inconsistentes, cuyos colores predominantes son rojizos, violáceos y marrón oscuros.

Todo el Grupo Moho tiene un espesor aproximado de 277 mts.

- 3.4.2.4 A la secuencia lutítica que se encuentra infrayacente al Horizonte Ayavacas se le asignó una edad eo-cretácica (Aptiana-Albiana) por descansar sobre el Horizonte Ayavacas de edad Cenomaniana (base del Cretácico Superior).

En cuanto a la edad del Horizonte Ayavacas, no se encontraron fósiles en la zona de estudio; sin embargo, Newell menciona el hallazgo de Neolobites que determina edad Cenomaniana.

A la secuencia lutítica y alternancia lutítica - arenosa, que se halla sobre el Horizonte Ayavacas, se le asignó una edad Neo - Cretácica (Turoniano).

- 3.4.2.5 De acuerdo a los datos anteriormente citados, se presume en general un ambiente de brazo de mar poco profundo, para toda la secuencia. El color rojizo hace suponer además un clima seco y un carácter más continental que marino.

El carácter calcáreo del Horizonte Ayavacas y la fauna hallada por Newell, indica un ambiente de deposición marino en un brazo de mar, con conexión intermitente con el mar abierto.

3.4.3 Formación Cotacucho

Derivatio nominis: Ver: N.D. Newell, 1949.

3.4.3.1 Rocas de esta formación se encuentran aflorando en las alturas de Huarachani, formando parte del sinclinal homónimo. Comienzan con areniscas rojas de grano medio a grueso, subredondeado, con matrix cuarcítica, estratificados en bancos de espesores variables (0.30 a 1 mts), forman estratos conspicuos, se encuentran intercalados con areniscas de colores rosados claros y lentes delgados de lutitas de colores rojizos, estratificados en bancos de 0.20 a 1.5 mts, todo el conjunto tiene espesor de 105 mts.

Por último, hacia la base se nota una intercalación de areniscas gris claras a blanquecinas y moradas; de grano fino; con lutitas de colores rojizos y un horizonte dolomítico (1 mt de espesor), de color gris claro. (Probablemente se trate de la Dolomita Huatasane de Newell, ubicada en la mitad de la Fm. Cotacucho).

3.4.3.2 Por el contenido de sedimentos marinos de poca profundidad y continentales en forma intercalada, constituye un ambiente parálico a sub-ácueo, con características más continentales que marinas.

3.5 SISTEMA TERCIARIO

3.5.1 Se han observado dos afloramientos de reducida extensión, a los que se les asignó tentativamente una edad Terciaria.

3.5.2 El primero al W del valle Okarí, constituye un remanente, cuyos estratos se encuentran en discordancia sobre rocas calcáreas pérmicas. Constituyen areniscas de grano medio, de color marrón oscuro, con potencia de 90 mts. No se hallaron fósiles, ni conglomerados.

3.5.3 El otro afloramiento se encuentra en el valle de los ríos Apacheta y Pacotallani, aflorando en una extensión de poco más de 1 km²; con un espesor aproximado de 120 mts.

Está integrado por un conglomerado polimítico, de color marrón oscuro, con clastos en su mayoría pertenecientes a rocas dacíticas, semejantes a las rocas subvolcánicas adyacentes y menor proporción clastos de calizas, areniscas y cuarcitas.

3.5.4 Los mencionados afloramientos son reducidos y no aportan mayores datos; sedimentos de éste tipo, tampoco se encontraron en otras regiones del área de estudio como para permitir una correlación y asignar de éste modo una edad definida.

3.6 SISTEMA CUATERNARIO

La descripción de depósitos cuaternarios, ha sido efectuada en forma amplia en el capítulo de Geomorfología.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

- 4.1 Los pliegues desarrollados en el área de estudio, se encuentran orientados en sentido del rumbo general de los Andes Orientales (NW-SE), las fallas de igual rumbo son de tipo inverso, con planos que buzcan al NE. Estos factores demuestran que los esfuerzos mayores que originaron los pliegues y fallas, son de tipo compresional y que la intensidad del esfuerzo y consecuente plegamiento aumenta de NE a SW, producido por el empuje del sollevamiento vertical del bloque Andino y localmente por el emplazamiento de rocas volcánicas.

Se observan también fallas de gravedad o de reajuste, que en general son transversales a los plegamientos.

- 4.2 La ruptura más importante del área, es sin duda, la Falla Suches, de tipo longitudinal inversa, tiene carácter regional y se extiende desde Perú (N.D. Newell) y continúa en dirección NW-SE hasta la zona de Chuma - Sorata.

Se caracteriza por poner en contacto rocas Paleozoicas con las del Mesozoico. Su traza ha sido disectada transversalmente y desplazada por otra de gravedad; formando un escarpe y una lineación bien visible, acompañada por una faja de alteración.

La falla tiene rumbo N45W, casi paralela a los pliegues; en las pampas de Ulla Ulla, su traza está inferida pero es probable que continúe paralela al río Suches, se deduce esto por la lineación que presentan una serie de abanicos aluviales.

- 4.3 Inmediatamente al norte de la Falla Suches, se encuentran los pliegues Huancarani, de tipo complejo debido a las fallas, tanto longitudinales como transversales, que afectaron tanto a rocas Carboníferas como a Pérmicas; son pliegues asimétricos. Dicha asimetría puede ser producto de una falla longitudinal, desarrollado en el flanco nor-occidental. Los ejes tienen rumbo general de N35W.

- 4.4 Cerca del Abra de Pumasani, se encuentra un anticlinal, desarrollado sobre rocas Pérmicas, cuyo eje tiene rumbo general de N55W, con hundimiento hacia el NW y fallado transversalmente en el sector sur-oriental.

Es un anticlinal simétrico, con buzamiento de 35° aproximadamente, para ambos flancos.

- 4.5 Otro grupo de estructuras importantes son: el Anticlinal de Chuncho Apacheta, cuyo eje inferido bajo materiales morrénicos, tiene rumbo general de N60W, su flanco norte tiene buzamiento de 30 a 40°, su flanco sur de 50° aproximadamente.

Luego los pliegues Cañuhuma, desarrollados en terrenos Pérmicos, el sinclinal con una longitud de 8 km de longitud aproximadamente y un anticlinal de más o menos 3 km de largo, ambos ejes semiparalelos tienen rumbo general de N60W.

- 4.6 En cuanto se refiere a fallas importantes, debo mencionar entre ellas, la Falla Amarca, cerca la población homónima, su traza se encuentra orientada paralelamente a los pliegues, la misma que ha sido disectada transversalmente por una falla de gravedad. Es de tipo inverso y pone en contacto sedimentos Carboníferos que actúan como parte activa sobre sedimentos Pérmicos.

La Falla Calaya, cuya traza pasa por la localidad homónima, cuyo rumbo es de NNW-SSE, es una falla de gravedad y pone en contacto rocas sub-volcánicas con rocas calcáreas Pérmicas.

- 4.7 Un aspecto muy interesante de las rocas sub-volcánicas de Charazani, es la presencia de diaclasas con tres tendencias vectoriales: N-S, NNW-SSE y NE-SW, siendo ésta última la de mayor frecuencia vectorial. Probablemente se trate de diaclasas de tensión producida por el enfriamiento del magma.

5. ACTIVIDAD MAGMATICA

En el sector oriental del área de estudio se presenta un extenso afloramiento de rocas sub-volcánicas, correspondiendo en gran parte a dacitas y en menor escala a riodacitas, ambas rocas son de color verde claro y grisáceo en superficie fresca y color marrón violáceo en superficie meteorizada; son de carácter ácido.

Localmente se han observado brechas mineralizadas con turmalinas, hematitas y zonas alteradas de color violáceo a blanquecinas; rocas dacíticas y riodacíticas con cristales de turmalinas y/o presencia de sulfuros.

Dentro del Stock sub-volcánico, se ha detectado minerales radioactivos acompañado de impregnación de malaquita, hematitas y limonitas.

El aspecto que presentan estas rocas es de carácter macizo, surcado por tres sistemas de diaclasas. Sus afloramientos se extienden por toda el área oriental y nor oriental; de Sur a Norte desde las inmediaciones de Canlaya hasta la Cordillera de Apolobamba; y de Este a Oeste desde el valle del río Maquinajta hasta las inmediaciones de la Comunidad de Pacotallani.

Tiene una longitud aproximada de 25 km y una amplitud máxima de 10 km., su

C.2

95

elongación máxima presenta orientación generalmente de NNW-SSE, aproximadamente abarca un área de 230 km².

Constituye un área positiva con alturas que fluctúan entre los 4.100 y 4.300 m.s.n.m.

Se han determinado dos tipos de contactos entre el stock sub-volcánico y las rocas Pérmicas con las cuales están en contacto. En la zona periférica del sector nor-oeste y oeste, las rocas ígneas se encuentran sobre y en aparente concordancia con rocas calcáreas Pérmicas del Grupo Copacabana, sin embargo no se han observado rocas con estructuras fluidales u otras características que nos obliguen a pensar en posibles lavas.

El otro contacto es por medio de fallas de gravedad, las mismas que han puesto en contacto rocas ígneas con rocas calcáreas.

Seguramente estas rocas aprovecharon una zona de debilidad para emplazarse, no se tienen evidencias de conos volcánicos en la zona.

No se dispone de datos radiométricos de estas rocas y tentativamente se determinó como de edad Post-Pérmica Inferior.

6. GEOLOGIA HISTORICA

Los sucesos geológicos acaecidos en la zona, se inician con los acontecimientos ocurridos durante el Neo-paleozoico y terminan con los hechos que tuvieron lugar en el Cuaternario.

Las transgresiones marinas hasta el Devónico tienen distribuciones bastantes extensas en el área Andina; sobre el final del Devónico (Fase Acadiana), el área Andina fue levantada ocasionando el retiro del mar Devónico.

Durante el Carbonífero, se depositaron sedimentos continentales; deposición que fue interrumpida en el Pérmico Inferior por una transgresión local de un brazo de mar proveniente del NW, dando lugar a la formación de poderosos bancos calcáreos fosilíferos intercalados con margas, lutitas y areniscas calcáreas (Grupo Copacabana).

Nota.- El autor, en fecha posterior a este trabajo de campo, realizó un estudio sobre Plutonismo en compañía del Ing. R. Robertson investigador de la Universidad de Queen del Canadá, con quien recolectamos una serie de muestras del stock sub-volcánico de Charazani; las mismas que fueron enviadas al Canadá para su determinación radiométrica. Esperamos que a breve plazo, dispongamos de una edad absoluta para estas rocas.

El gran contenido fosilífero del Pérmico Inferior, demuestra condiciones ambientales marinas favorables para el hábitat de fauna. Hacia el tope de esta secuencia, la fauna va empobreciéndose y las calizas se vuelven impuras, dominando sedimentos psamíticos, lo que sugiere un gran retiro del mar.

Posteriormente se produce un importante movimiento orogénico (Tectónica Hercílica Tardía), caracterizado por un intenso plegamiento y fallamiento. Después de estos acontecimientos tectónicos, el área que nos ocupa queda emergido, formando zonas positivas, lo que hizo que no se depositaran sedimentos del Pérmico Superior, Triásico, Jurásico o si lo hicieron, fueron desgastados por una fuerte erosión.

Nuevos movimientos (Orogenia Alpina), que plegaron el Paleozoico nuevamente, formando cuencas menores separadas por zonas positivas; sobre estas cuencas intermontanas se depositaron sedimentos Cretácicos y Terciarios.

Al final del Cretácico, se produjo la Orogenia Larámica (plegamiento peruano de Steinmann) debido a la cual se produjeron movimientos epeirogénicos ligeros, que se manifiestan por la discordancia entre sedimentos Cretácicos y Terciarios.

Durante el Eoceno y Oligoceno, los movimientos distróficos continúan con el Plutonismo y el intenso Volcanismo. Durante la Orogenia Incaica, los movimientos distróficos tienen su punto culminante con una máxima presión tangencial, formando fallas de empuje y plegamientos, acompañados de intensas intrusiones volcánicas, probablemente en esta época surgió las rocas sub-volcánicas de Charazani.

Acontecimientos importantes están referidos a la Orogenia plio-pleistocénica, la cual habría sido responsable de la disposición y arreglo estructural que se observa actualmente.

7. GEOLOGIA ECONOMICA

Por ser la zona muy poco explorada, se dispone de escasos datos sobre manifestaciones mineralógicas. Teniendo en cuenta la presencia de un gran yacimiento de estaño en la Mina Amarete (Empresa Minera Pabón), y otras pequeñas minas de Sb, Au en las márgenes del río Charazani, y por último manifestaciones de Pb y Ag en las alturas de Jackosiri; todas ellas situadas en los alrededores del stock subvolcánico de Charazani, se da la posibilidad de encontrar buenos yacimientos minerales con una adecuada prospección detallada.

7.1 Yacimientos Radioactivos

Las manifestaciones de Uranio, se han localizado entre el Cerro Kowila y la

laguna de Cholcolaya a 4.400 mts. s.n.m. en afloramientos de rocas del stock sub-volcánico. Aproximadamente a 1 km. en línea recta al NW de Charazani, subiendo por el río homónimo y la quebrada de Lunlaya, con un recorrido de 4 a 5 horas. Y a 8 km en línea recta al NNE de la comunidad de Chunchu Apacheta, con un recorrido de aproximadamente 2 a 3 hs.

Las vetas se encuentran rellenando diaclasas de 10 a 60 cm de ancho y una longitud no mayor a los 10 mts. El mineral se presenta en colores gris, rosado, verde, amarillo y pardo amarillento; la roca encajonante es de tipo extrusivo y ácida, correspondiendo a una riodacita; el mineral está acompañado por una apreciable cantidad de calcopirita, la misma que se halla rellenando vetillas; posiblemente la mineralización sea de tipo hidrotermal.

El mineral radioactivo ha sido analizado en los laboratorios del Servicio Geológico de Bolivia, por expertos de dicha sección. En base a las muestras que les proporcionamos, el Departamento de Laboratorio de GEOBOL ha elaborado un informe inédito; "Sobre la Mineralización Uranífera de Charazani". Como resultado de estos análisis, se ha detectado Uraninita como mineral primario, meta-Autunita, Uranofano, Torbernita e Irginita como minerales secundarios o de alteración.

7.2 Depósitos Yesíferos

Se han ubicado dos depósitos yesíferos en el área de estudio. El primero de extensión reducida (aproximadamente 2 km²), se encuentra en las inmediaciones de la comunidad de Pacotallani, situado en las cabeceras del río Charazani, por su reducida extensión y difícil acceso, no me ocuparé de este depósito.

El otro yacimiento yesífero ubicado en los flancos del Anticlinal de Huancarani es más extenso y probablemente constituya una gran reserva. Se encuentra sobre el camino Escoma - Charazani. El depósito yesífero se halla interstratificado sobre rocas calcáreas del Grupo Copacabana. El flanco norte del anticlinal presenta fallas transversales de gravedad, las mismas que han dividido el afloramiento en pequeños bloques que muestran diversos espesores.

Una sección del afloramiento yesífero, presenta un espesor promedio de 100 a 150 mts. Probablemente se trate de depósitos de naturaleza lenticular, pues hacia las profundidades esta capa va adelgazándose, lo prueban los bloques levantados que presentan espesores menores y además no afloran en el sinclinal adyacente.

7.3 Aguas Termales

Termas aflorando en la zona de estudio se presentan en Putina, al norte de Ulla

Ulla, sobre el camino a Pelechuco y otro en las inmediaciones de Charazani; las mismas que han aprovechado zonas de fracturación. En la zona de Putina, es notable el contenido de sulfuros. Su abundante caudal de agua y vapor, son considerables, por esta razón sería interesante efectuar un estudio geotérmico en esta zona.

7.4 Yacimientos auríferos

La zona de Ulla Ulla contiene depósitos morrénicos provenientes de la Cordillera de Apolobamba; estas morrenas se extienden hasta la localidad peruana de Poto, al NNW de ésta zona, donde se explota oro de las morrenas utilizando monitores; lo cual nos induce a pensar en un probable depósito aurífero en ésta parte del territorio nacional.

Por otra parte es bien conocido el placer aurífero del río Suches; los pobladores de la zona efectúan lavados de arena en busca del preciado metal.

Nota.- Informaciones verbales de Geólogos de Comibol, los mismos que efectuaron exploraciones en busca de Yacimientos Minerales en esta zona, confirmaron el hallazgo de manifestaciones auríferas en los depósitos morrénicos. (comunicación verbal).

8. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos de detalle, de prospección y aun de investigación, que puedan realizarse en el área; se hacen las siguientes recomendaciones:

Realizar un estudio más detallado de las rocas Paleozoicas, especialmente allá, donde se mencionan afloramientos Devónicos y Carboníferos muy poco estudiados. Especialmente en la Quebrada de Huarachani, Cerro Chuallamani y al oriente de la población de Charazani.

Igualmente se debe realizar un estudio para ubicar el contacto Permo - Carbonífero, en las inmediaciones de la Laguna Ajhuani al norte de Ulla Ulla e inmediaciones de la Comunidad de Okaria.

Estudio detallado del stock sub - volcánico de Charazani, muestreo sistemático para establecer sus diferencias litológicas y su extensión areal.

Realizar prospección minera detallada de la zona, sobre todo del área adyacente al stock y también en la zona diaclasada dentro este cuerpo ígneo.

Muestreo sistemático de las morrenas que se encuentran en el flanco sud occidental de la Cordillera de Apolobamba; especialmente las que se encuentran en las inmediaciones de Ulla Ulla, con el fin de establecer posibles yacimientos auríferos.

Se recomienda realizar muestreo sistemático en los veneros del río Suches, pues es muy conocido el carácter aurífero de sus arenas.

Realizar diferenciaciones de fases glaciales e inter-glaciales en los depósitos cuaternarios.

Con respecto al depósito yesífero, se trata evidentemente de una gran reserva, por lo cual se recomienda un programa exploratorio a fin de evaluar las cantidades de reservas por medio de perforaciones o de minería subterránea.

Sin embargo, se debe hacer notar, que su utilización inmediata no es factible por el transporte y su ubicación muy remota y alejada de los centros urbanos.

**ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY**

BIBLIOGRAFIA

- | | | |
|--|------|---|
| - Ahlfeld, F., Branisa, L. | 1960 | Geología de Bolivia, Instituto Boliviano del Petróleo La Paz. |
| - Ahlfeld, F., Schneider Sherbina, A. | 1964 | Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia. Boletín D.N.G. Especial Nº 5, La Paz. |
| - Avila, S.W., Monterrey, J. Ploskonka, S. | 1971 | Sobre la mineralización Uranífera de Charazani. Prov. Muñecas, Dpto. La Paz. GEOBOL. Informe Inédito. |
| - Newell, N.D. | 1949 | Geology of the Lake Titicaca Region, Perú and Bolivia; Geol. Soc. Am. Memoir 36. |
| - Oppenheim, V. | 1945 | Las glaciaciones en el Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Tomo XVIII. Lima. |
| - Rivas, S. | 1962 | Geología de la Región Norte del Lago Titicaca. Departamento Nacional de Geología, Boletín Nº 2. La Paz. |
| - Russo, A., Rodrigo, L. | 1965 | Estratigrafía y Paleografía del Grupo Puca en Bolivia. Y.P.F.B. Boletín IBP Vol. 5, Nº 3-4, La Paz. |

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Los manuscritos serán dactilografiados a doble espacio y con margen suficiente. A fin de resaltar ciertas palabras o partes del texto, los autores pueden utilizar las indicaciones tipográficas siguientes:

- **bastardilla**, se debe subrayar con línea entera una vez.
- **mayúsculas pequeñas**, se debe subrayar dos veces el manuscrito.
- **negrita**, se debe subrayar con línea ondulada el manuscrito.
- **caracteres espaciados**, se debe subrayar con línea entrecortada el manuscrito.
- **MAYUSCULAS**, se debe subrayar tres veces el manuscrito.

Los nombres científicos de géneros o especies paleontológicas, zoológicas, etc. deben ser impresos en **bastardilla**.

Las figuras que se incluirán en el texto no podrán ser reproducidas si no están dibujadas con tinta china y en dimensiones convenientes, considerando que el espacio libre de impresión es de 12,5 x 19 centímetros. Los signos, letras o cifras de figuras que deberán ser reducidos, deben tener un tamaño tal que después de su reducción, su tamaño no sea inferior a 1 mm. Se evitará incluir en el texto figuras, leyendas o títulos que deban ser impresos independientemente. En el caso de incluirse fotografías al texto del artículo, estas deberán ser debidamente identificadas; ser en blanco y negro y con buen contraste, para obtener una reproducción adecuada.

La simbología a usarse en mapas, columnas y perfiles, deberá ser aquella de uso común en Y. P. F. B.

Las referencias bibliográficas deben figurar al fin del artículo y en orden alfabético de autores y cronológico cuando se citan varias obras del mismo autor. Se debe indicar el apellido, iniciales del nombre del autor; nombre completo del título de la obra; lugar y fecha de publicación. Si se trata de artículos aparecidos en revistas periódicas, se incluirá el nombre de las mismas convenientemente abreviado, con indicaciones de tomo, número y la página en la cual se encuentra dicho artículo.

En el texto, la referencia bibliográfica se hará por inscripción del nombre del autor seguido, entre paréntesis, por el año de publicación de la obra citada. Si existieran varios trabajos de un mismo autor publicados en un mismo año, la indicación cronológica deberá ir acompañada de las letras a, b, c, etc.

Cada artículo deberá ir precedido de un pequeño resumen en Inglés (máximo de una media página escrita a máquina y a doble espacio). Este resumen podrá ser utilizado directamente por las revistas especializadas.

Las notas técnicas no deben tener una extensión mayor de cinco páginas a doble espacio.

Únicamente serán aceptados, artículos originales. Los editores dejan a los autores la responsabilidad de sus opiniones; se reservan sin embargo, el derecho de discutir oportunamente ciertos artículos y de someterlos eventualmente, a una revisión por parte del comité de lectura.

LOS EDITORES